



**João Carlos Leal Segreto Menescal**

**CARACTERIZAÇÃO ICNOLÓGICA DAS FORMAÇÕES PIMENTEIRA  
E CABEÇAS (DEVONIANO) NA BORDA OESTE DA BACIA DO  
PARNAÍBA, ESTADO DO TOCANTINS**

**Trabalho Final de Curso**  
**(Geologia)**

Julho de 2010



UFRJ

**João Carlos Leal Segreto Menescal**

**CARACTERIZAÇÃO ICNOLÓGICA DAS FORMAÇÕES PIMENTEIRA E  
CABEÇAS (DEVONIANO) NA BORDA OESTE DA BACIA DO PARNAÍBA,  
ESTADO DO TOCANTINS**

Trabalho Final de Curso de Graduação em  
Geologia do Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,  
apresentado como requisito necessário para  
obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Leonardo Borghi  
Carlos Jorge de Abreu

Rio de Janeiro

Julho de 2010

MENESCAL, João Carlos Leal Segreto

**Caracterização icnológica das formações Pimenteira e Cabeças (Devoniano) na borda oeste da bacia do Parnaíba, Estado do Tocantins** / João Carlos Leal Segreto Menescal - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2010.

xiv, 59 p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2010.

Orientadores: Leonardo Borghi, Carlos Jorge de Abreu

1. Geologia. 2. Paleontologia e Estratigrafia – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Leonardo Borghi. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

**João Carlos Leal Segreto Menescal**

**CARACTERIZAÇÃO ICNOLÓGICA DAS FORMAÇÕES PIMENTEIRA  
E CABEÇAS (DEVONIANO) NA BORDA OESTE DA BACIA DO  
PARNAÍBA, ESTADO DO TOCANTINS**

Trabalho Final de Curso de Graduação em  
Geologia do Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,  
apresentado como requisito necessário para  
obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Leonardo Borghi  
Carlos Jorge de Abreu

Aprovada em: 16 jul. 2010  
Por:

---

Dr. Leonardo Borghi (UFRJ)

---

Dr. Ismar de Souza Carvalho (UFRJ)

---

Dr. Carlos Jorge de Abreu (UnB)

Dedico este trabalho à minha família que sempre me apoiou em todas as minhas escolhas, à minha namorada, Iviana, por estar sempre ao meu lado quando precisei e aos amigos que fiz ao longo desses quatro anos e meio de faculdade.

## **Agradecimentos**

Aos colegas Alexandre B. L. Paula Freitas pela descrição sedimentológica do poço estudado e Iviana S. Duarte por ter me auxiliado em algumas fases da etapa descritiva e na revisão da parte escrita do trabalho.

Aos meus orientadores Leonardo Borghi e Carlos Jorge de Abreu pelos esclarecimentos e pelo apoio prestado.

Por fim agradeço a autorização para a utilização dos dados presentes no projeto CONEXÃO - Reavaliação Geológica dos Sistemas Siluriano e Devoniano da Borda Oeste da Bacia do Parnaíba.

## Resumo

MENESCAL, João Carlos Leal Segreto. *Caracterização icnológica das formações Pimenteira e Cabeças (Devoniano) na borda oeste da bacia do Parnaíba, Estado do Tocantins*. 2010. xiv, 59f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O estudo icnológico apresenta grande valor sedimentológico e estratigráfico, principalmente em rochas microclásticas, onde poucas estruturas sedimentares, além de icnitos, podem ser reconhecidas. A Formação Pimenteira, identificada como a principal unidade geradora de hidrocarbonetos (gás) da bacia do Parnaíba, de idade eifeliana-eofameniana (Meso-Neodevoniano), é composta tipicamente por folhelhos e siltitos bioturbados de origem marinha rasa, cujo detalhamento faciológico, estratigráfico e mesmo icnológico, no tocante ao contexto faciológico da qualidade dessas rochas como reservatório, gerador e selante, é desejado. A Formação Cabeças, identificada como a principal unidade reservatório de hidrocarbonetos da bacia, de idade eifeliana-fameniana (Meso-Neodevoniano) é composta tipicamente por arenitos cinza-claros a brancos com intercalações delgadas de siltitos e folhelhos, ocorrendo tilitos, e está sobreposta à Formação Pimenteira. Portanto o refinamento da análise faciológica de ambas as unidades é de grande importância. O presente estudo realizou a caracterização icnológica detalhada das rochas das formações Pimenteira e Cabeças, com base na análise de um testemunho de sondagem, com a finalidade de ampliar a resolução da análise de fácies de ambas as unidades. Neste estudo foram reconhecidos os icnogêneros *Arenicolites*, *Asterosoma*, *Bergaueria*, *Cylindrichnus*, *Diplocraterion*, *?Gyrolithes*, *Helminthopsis*, *Lockeia*, *Macaronichnus*, *Monocraterion*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Psilonichnus*, *Rhizocorallium*, *Rosselia*, *Skolithos*, *Taenidium*, *Teichichnus*, *Thalassinoides*, e *Zoophycos*, além de estruturas de escape e pistas epiestratais indiferenciadas. Com base nessa assembléia, foram identificadas as icnofácies *Skolithos*, *Glossigungites* e *Cruziana* (empobrecida, arquetípica e distal). Distinguem-se paleoambientes marinhos sob variada influência fluvial (deltaica) em diferentes estágios de consolidação do substrato. Identificam-se duas superfícies transgressivas erosivas (ravinamento marinho), uma indeterminada, podendo tanto ser transgressiva erosiva quanto regressiva erosiva e uma regressiva erosiva, evidenciadas pela presença da icnofácies *Glossifungites*.

Palavras-chave: Parnaíba; Devoniano; Icnologia

## Abstract

MENESCAL, João Carlos Leal Segreto. *Ichnological characterization of Pimenteira and Cabeças formations (Devonian) west edge of Parnaíba basin, Tocantins State*. 2010. xiv, 59 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The ichnologic study presents great sedimentological and stratigraphic value, mainly in microclastic rocks where few sedimentary structures, beyond fossil traces, can be recognized. The Pimenteira Formation is identified as the main hydrocarbon (gas) generator unit of Parnaíba basin, Eifelian-Eofamenian (Meso-Neodevonian). This unit is typically composed by bioturbated shallow marine shales and siltstones, whose faciologic, stratigraphic and ichnological aspects detailing, regarding the facies context of these rocks as reservoirs, generators and seals, is needed. The Cabeças Formation is identified as the main reservoir unit of the basin, Eifelian-Famenian (Meso-Neodevonian). This unit is typically composed by light gray to white sandstones with thin interbedded layers of siltstones and shales, occurring till, and overlaps Pimenteira Formation. Therefore the faciologic analysis refinement of both units has great importance. The present study, based on analysis of one core, performed the detailed ichnological characterization of Pimenteira and Cabeças formations, aiming to expand the facies analysis resolution of both units. In this study were identified the ichnogenus *Arenicolites*, *Asterosoma*, *Bergaueria*, *Cylindrichnus*, *Diplocraterion*, *?Gyrolithes*, *Helminthopsis*, *Lockeia*, *Macaronichnus*, *Monocraterion*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Psilonichnus*, *Rhizocorallium*, *Rosselia*, *Skolithos*, *Taenidium*, *Teichichnus*, *Thalassinoides* and *Zoophycos*, beyond scape structures and indistinct trails. Based on this assemblage were identified the ichnofacies Skolithos, Glossifungites, and Cruziana (impoverished, archetypic and distal). Were discerned marine paleoenvironments under variable fluvial influence (deltaic) on different floor consolidation stages. Were recognized two transgressive surfaces of erosion (marine ravinement), one undetermined that can be a transgressive surface of erosion or a regressive surface of erosion and one regressive surface of erosion, evidenced by the presence of Glossifungites ichnofacies.

Key-Words: Parnaíba; Devonian; Ichnology



## Lista de figuras

Figura 1: Localização do poço estudado próximo à cidade de Novo Acordo, Tocantins.

Figura 2: Diagramas esquemáticos de Droser & Bottjer (1989) representando os índices de icnotrama. Na coluna da esquerda uma icnotrama dominada pelo icnogênero *Skolithos* e à direita por *Ophiomorpha*.

Figura 3: Coluna estratigráfica da bacia do Parnaíba, tendo assinalada a Formação Pimenteira (verde) e a Formação Cabeças (amarelo) (Denck, 2009).

Figura 4: Total de bioturbação distribuído por cada litologia. AMs-AS corresponde a arenito médio superior a arenito seixoso enquanto AMF-AM corresponde a arenito muito fino a médio. Folhelho ocorre apenas na Formação Pimenteira, representando quase sua totalidade.

Figura 5: Distribuição do índice de icnotrama para as duas unidades estudadas.

Figura 6: Distribuição de índice de icnotrama para lamitos e arenitos plataformais (Bottjer & Droser, 1991)

Figura 7: Distribuição de índice de icnotrama para leques de mar profundo e arenitos de mar raso (Bottjer & Droser, 1991).

Figura 8: Distribuição do Índice de Icnograma revisado para a Formação Cabeças.

Figura 9: Perfil de praia evidenciando a distribuição das icnofácies (Pemberton *et al.*, 2001).

Figura 10: Estágios de desenvolvimento da Icnofácies *Glossifungites* devido à formação de *firmground* (Pemberton *et al.*, 2001).

Figura 11: Perfil litológico-icnológico mostrando a distribuição dos índices de icnotrama e icnofácies ao longo do poço, além das superfícies estratigráficas e ciclos eustáticos. SIM corresponde a superfície de inundação máxima, SRE a superfície regressiva erosiva e STE a superfície transgressiva erosiva. IC representa o índice de icnotrama enquanto IF as icnofácies.

## Lista de estampas

### Estampa A

Figura 1: *Arenicolites* isp. em forma de J com parede revestida por sedimento argiloso.

Figura 2: *Asterosoma* isp apresentando tubo central com preenchimento arenoso e parede revestida por lâminas concêntricas de sedimento argiloso.

Figura 3: *Bergaueria* isp. apresentando forma cônica, com lâminas ricas em minerais pesados deflexionadas para baixo em seu preenchimento.

Figura 4: *Cylindrichnus* isp. com preenchimento distinto da matriz evidenciando sua forma cônica, mas com a base curvada. Observam-se grãos de minerais pesados concentrados num dos lados da estrutura devido a ação do organismo gerador da estrutura.

Figura 5: *Diplocraterion* isp. apresentando *spreiten* com concavidade para cima indicando ação retrusiva do organismo gerador.

Figura 6: ?*Gyrolithes* isp. composto por uma sequência de quatro pequenos tubos com preenchimento arenoso, possivelmente conectados numa forma helicoidal.

### Estampa B

Figura 1 *Helminthopsis* isp. caracterizado pela ocorrência de pequenos tubos sub-horizontais com preenchimento argiloso de cor escura.

Figura 2: *Lockeia* isp. apresentado indivíduos de forma oblonga a arredondada preservados como hiporelevo convexo.

Figura 3: *Macaronichnus* isp. ocorrendo como tubos sub-horizontais apresentando paredes com grande concentração grãos de minerais pesados.

Figura 4: *Monocraterion* isp. com o topo da estrutura afunilado, apresentando preenchimento arenoso, mas com tonalidade diferente da matriz, e base cilíndrica onde pode-se observar lâminas voltadas para baixo.

Figura 5: *Palaeophycus* isp. evidenciado por um tubo horizontal preenchido por sedimento arenoso semelhante a matriz e contendo parede revestida por sedimento argiloso.

Figura 6: *Planolites* isp. ocorrendo como pequenos tubos com preenchimento arenoso, sem paredes revestidas, em meio a uma matriz argilosa.

### Estampa C

Figura 1: *Psilonichnus* isp. ocorrendo como um tubo em forma de Y com parede revestida por sedimento argiloso.

Figura 2: *Rhizocorallium* isp. apresentando *spreiten* gerado pela sobreposição de tubos sub-horizontais a inclinados.

Figura 3: *Rosselia* isp. com forma aproximadamente cônica apresentando preenchimento argiloso e um tubo central com preenchimento arenoso.

Figura 4: *Skolithos* isp. ocorrendo como tubos verticais com preenchimento arenoso e paredes revestidas por sedimento argiloso.

Figura 5: *Taenidium* isp. apresentando-se como uma pequena estrutura sub-horizontal com preenchimento meniscado, igual à matriz.

Figura 6: *Teichichnus* isp. apresentando *spreiten* gerado pela sobreposição vertical de tubos horizontais.

### **Estampa D**

Figura 1: *Thalassinoides* isp. ocorrendo como tubo horizontal de grande porte, sem paredes revestida e com preenchimento laminado.

Figura 2: *Zoophycos* isp. apresentando-se como lâminas argilosas inclinadas truncando suavemente as estruturas sedimentares físicas.

Figura 3: Pista epiestratal ocorrendo como sulcos em sedimento argiloso e preservada como hiporelevo convexo na base dessas camadas.

Figura 4: Estrutura de escape onde observa-se claramente lâminas com grande concentração de grãos de minerais pesados voltadas para baixo.

### **Estampa E**

Figura 1: Observa-se a ocorrência de estrutura tubular meniscada identificada como *Taenidium* isp. (Ta), além de uma possível ocorrência de *Lockeia* isp. (Lk) e estruturas em forma de tubos subhorizontais circulares com preenchimento arenoso correspondentes ao icnogênero *Planolites* isp. (Pl). Profundidade 88,30 m (Fm. Cabeças).

### **Estampa F**

Figura 1: Intervalo rico em estruturas horizontais circulares de grande porte, preenchidas por sedimento arenoso e sem parede revestida, correspondendo ao icnogênero *Thalassinoides* isp. (Th). Não foi possível delimitar uma superfície que identificasse o limite superior do *firmground*. Este intervalo foi caracterizado como pertencente à icnofácies Glossifungites pela abundância dessas estruturas. Corresponde à primeira superfície de *firmground*. Observam-se também os icnogêneros *Planolites* isp. (Pl) e *Helminthopsis* isp. (He) correspondendo à icnofácies Cruziana. Profundidade 136,70 m (Fm. Pimenteira).

Figura 2: Observa-se uma grande estrutura de bioturbação subhorizontal com laminação horizontal correspondente ao icnogênero *Thalassinoides* isp. (Th). Evidencia a ocorrência da icnofácies glossifungites e corresponde à segunda superfície de *firmground*. Profundidade 132,20 m (Fm. Pimenteira).

Figura 3: Nível rico em estruturas tabulares subhorizontais sem revestimento na parede e com preenchimento de granulometria grossa correspondentes ao icnogênero *Thalassinoides* isp.

(Th). Corresponde à quarta superfície de *firmground*. Profundidade 111,35 m (Fm. Pimenteira).

Figura 4: Estrutura tubular vertical sem paredes revestidas e com preenchimento arenoso, na base se uma fina lâmina arenosa com granulometria idêntica ao preenchimento da estrutura. Foi atribuída ao icnogênero *Skolithos* isp. (Sk). Corresponde à terceira superfície de *firmground*. Profundidade 130,40 m (Fm. Pimenteira).

## Estampa G

Figura 1: Intervalo com ocorrência predominante do icnogênero *Macaronichnus* isp. (Ma) evidenciando paleoambiente deposicional de face de praia. Profundidade 69,50 m (Fm. Cabeças).

Figura 2: Intervalo com ocorrência do icnogênero *Psilonichnus* isp. (Ps) na base e predomínio do icnogênero *Skolithos* isp. (Sk) para o topo, caracterizando paleoambiente estressante com alguma influência de água doce. Profundidade 79,20 m (Fm. Cabeças).

Figura 3: Icnofácies *Skolithos* típica, apresentando baixa intensidade e diversidade de traços fósseis. Observam-se estruturas de bioturbação correspondentes aos icnogêneros *Asterosoma* isp. (As) e *Bergaueria* isp. (Be). Profundidade 71,15 m (Fm. Cabeças).

Figura 4: Estrutura de escape (Es) indicando rápida taxa de sedimentação nas pequenas camadas arenosas com colonização oportunista correspondente à icnofácies *Skolithos*. Profundidade 142,05 m (Fm. Pimenteira).

Figura 5: Icnofácies *Skolithos* ocorrendo numa pequena camada arenosa intercalada com folhelhos apresentando assembléia icnofossilífera típica da icnofácies Cruziana. Caracteriza uma colonização oportunista. Pode ser observado o icnogênero *Diplocraterion* isp. (Dp) na base da camada arenosa além do icnogênero *Planolites* isp. (Pl) nos folhelhos colonizados pela icnofácies Cruziana. Profundidade 132,55 m (Fm. Pimenteira).

## Estampa H

Figura 1: Icnofácies Cruziana Arquetípica, caracterizada por grande intensidade e diversidade de traços fósseis, com estruturas maiores e mais definidas. Podem ser observados os icnogêneros *Asterosoma* isp. (As), *Helminthopsis* isp. (He), *Planolites* isp. (Pl), *Teichichnus* isp. (Te) e *Thalassinoides* isp. (Th). Numa camada arenosa no centro da imagem pode ser observado o icnogênero *Diplocraterion* isp. (Dp), caracterizando uma colonização oportunista da icnofácies *Skolithos*. Profundidade 139,80 m (Fm. Pimenteira).

Figura 2: Icnofácies Cruziana Empobrecida, caracterizada pela menor intensidade e diversidade de traços fósseis em relação à icnofácies Cruziana Arquetípica, com estruturas menores e mais irregulares. Ocorrem os icnogêneros *Planolites* isp. (Pl), *Teichichnus* isp. (Te) e *Thalassinoides* isp. (Th). Na camada arenosa na borda inferior da imagem pode ser observado o icnogênero *Cylindrichnus* isp. (Cy), caracterizando uma colonização oportunista da icnofácies *Skolithos*. Profundidade 137,15 m (Fm. Pimenteira).

Figura 3: Icnofácies Cruziana Distal, caracterizada pela intensidade e diversidade de traços fósseis muito baixas e ocorrência de pequenas estruturas subhorizontais de alimentação como o icnogênero *Helminthopsis* isp. (He). Profundidade 123,35 m (Fm. Pimenteira).

## Lista de icnotáxons

- 1 - *Arenicolites* isp.
- 2 - *Asterosoma* isp.
- 3 - *Bergaueria* isp.
- 4 - *Cylindrichnus* isp.
- 5 - *Diplocraterion* isp.
- 6 - ?*Gyrolithes* isp.
- 7 - *Helminthopsis* isp.
- 8 - *Lockeia* isp.
- 9 - *Macaronichnus* isp.
- 10 - *Monocraterion* isp.
- 11 - *Palaeophycus* isp.
- 12 - *Planolites* isp.
- 13 - *Psilonichnus* isp.
- 14 - *Rhizocorallium* isp.
- 15 - *Rosselia* isp.
- 16 - *Skolithos* isp.
- 17 - *Taenidium* isp.
- 18 - *Teichichnus* isp.
- 19 - *Thalassinoides* isp.
- 20 - *Zoophycos* isp.

## Sumário

<b>Agradecimentos .....</b>	<b>v</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>vi</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>viii</b>
<b>Lista de estampa .....</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de icnotáxons .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Sumário.....</b>	<b>xiv</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Objetivos e finalidade.....</b>	<b>2</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>3</b>
<b>3 CONTEXTO GEOLÓGICO .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1 Embasamento.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2 Estratigrafia da bacia do Parnaíba.....</b>	<b>8</b>
3.2.1 Formação Pimenteira.....	10
3.2.2 Formação Cabeças .....	10
3.2.3 Paleoambientes deposicionais .....	11
3.2.4 Relações de contato .....	12
<b>3.3 Registro fossilífero .....</b>	<b>12</b>
<b>3.4 Histórico icnológico .....</b>	<b>13</b>
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1 Índice de Icnograma.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2 Icnotaxonomia.....</b>	<b>19</b>
<b>4.3 Determinação de icnofácies.....</b>	<b>37</b>
<b>4.4 Análises estratigráficas.....</b>	<b>50</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>54</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A bacia do Parnaíba está localizada na região Nordeste do Brasil e abrange principalmente os estados do Maranhão e Piauí e pequenas faixas dos estados do Ceará, Pará, Goiás e Tocantins, com extensão areal de aproximadamente 600.000 km<sup>2</sup> (Mesner & Wooldridge, 1964).

Grande parte do seu conhecimento geológico se deu devido à exploração de petróleo realizada nas décadas de 1960, 1970 e 1980, (Góes *et al.*, 1990 *apud* Young, 2006), sem grandes resultados, o que levou a bacia a ser considerada como “fronteira exploratória”. Segundo estes autores, apenas indícios de óleo e gás foram encontrados nas sequências basais, Siluriana (Grupo Serra Grande) e Mesodevoniana-Eocarconífera (Grupo Canindé).

O principal sistema petrolífero da bacia ocorre no Devoniano, sendo caracterizado pelos arenitos da Formação Cabeças (reservatórios) e folhelhos da Formação Pimenteira (geradores), unidades estudadas neste trabalho.

A Formação Pimenteira (Eifeliano-Eofameniano) é composta basicamente por rochas microclásticas (folhelhos escuros intercalados com siltitos e arenitos), enquanto a Formação Cabeças (Eifeliano-Fameniano) é caracterizada pela ocorrência de arenitos claros, médios a grossos, com intercalações delgadas de siltitos e folhelhos (Vaz *et al.*, 2007).

O paleoambiente deposicional das rochas da Formação Pimenteira é geralmente atribuído à sedimentação “plataformar” (mar epicontinental) rasa dominada por tempestades. Freitas (1990) cita ainda a passagem gradual para um domínio de maré em regiões mais rasas, correspondente à Formação Cabeças.

Della Fávera (2001) propõe um paleoambiente pró-deltaico para os folhelhos da Formação Pimenteira, enquanto a Formação Cabeças caracterizaria a frente deltaica.

Young (2003) e posteriormente Young & Borghi (2003a, b,) discutiram pela primeira vez na literatura a presença de eventos de regressão forçada tanto para corpos arenosos de espessura considerável dentro da Formação Pimenteira quanto para o contato entre esta e a Formação Cabeças.

É nesse contexto de necessidade de análises faciológicas, paleoambientais e estratigráficas que se insere a icnologia. Trabalhos como o realizado por McILROY (2004) demonstram como a realização de um estudo icnológico detalhado apresenta grande valor sedimentológico e estratigráfico, principalmente em rochas microclásticas, onde poucas estruturas sedimentares, além de icnitos, podem ser reconhecidas. Além disso, grande parte



das estruturas sedimentares geradas por processos físicos podem ocorrer em diversos ambientes deposicionais. Dessa forma, a utilização de dados icnológicos, associados aos dados sedimentológicos aumenta consideravelmente a resolução da análise de fácies e paleoambientes também para rochas macroclásticas. Sendo assim, a utilização dessa ferramenta no estudo das rochas microclásticas da Formação Pimenteira e macroclásticas da Formação Cabeças aumenta a resolução das análises sedimentológicas, paleoambientais e estratigráficas realizadas para estas unidades, assim como auxilia no melhor entendimento da relação de contato entre ambas.

### **1.1 Objetivo e finalidade**

O presente trabalho apresenta como objetivo a caracterização icnológica detalhada das Formações Pimenteira e Cabeças (Grupo Canindé), Devoniano, na borda SW da bacia do Parnaíba.

Busca-se dessa forma, através da análise icnológica, contribuir para o melhor entendimento dessas unidades estratigráficas, quanto a seus paleoambientes deposicionais, suas relações estratigráficas, dentre outras características, assim como da bacia como um todo.

## 2 MATERIAL E MÉTODO

Para a realização da análise icnológica foi utilizado um testemunho de sondagem, totalizando 144 m, recuperado do poço 2-NA-1-TO perfurado pela UFRJ na cidade de Novo Acordo, Tocantins (Figura 1).

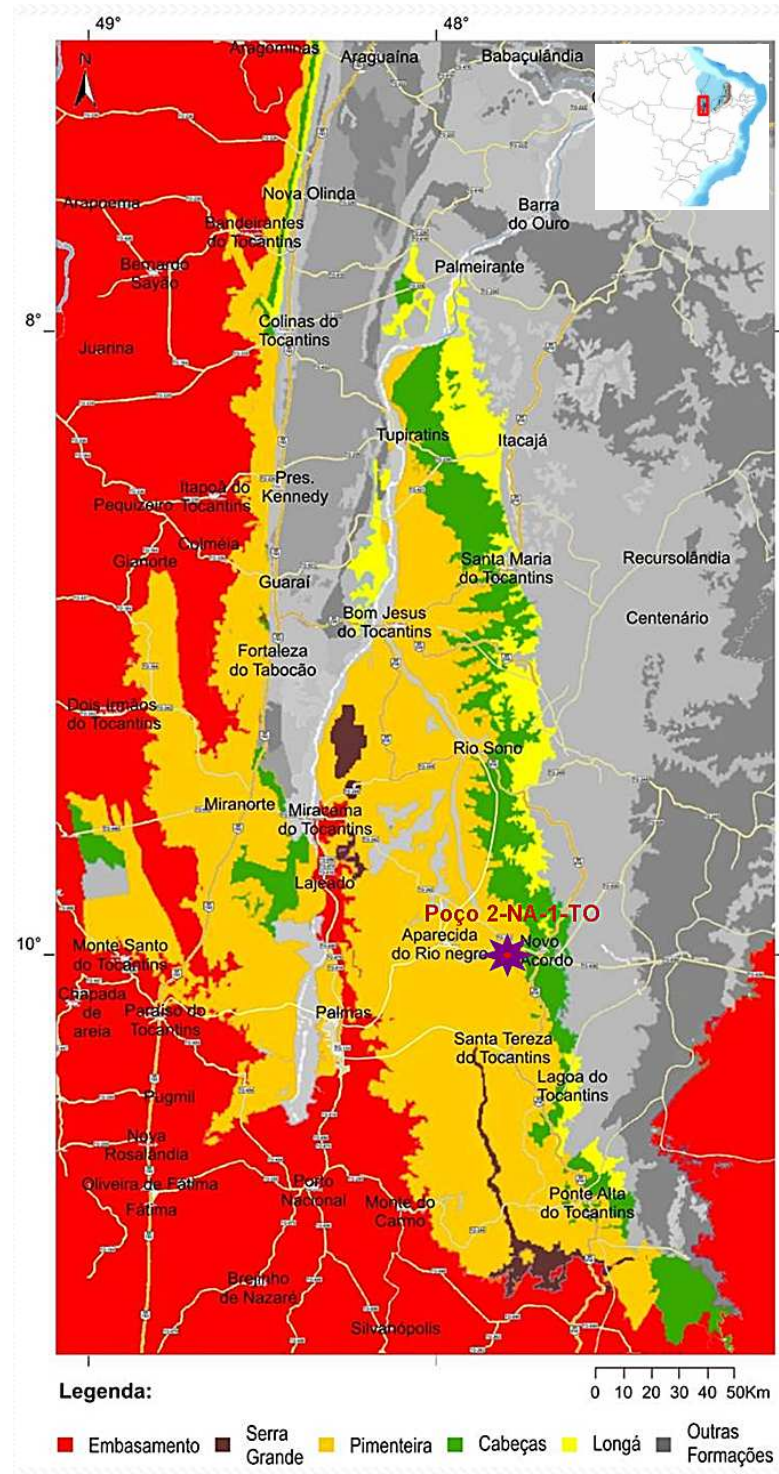


Figura 1: Localização do poço estudado próximo à cidade de Novo Acordo, Tocantins (Bizzi *et al.*, 2002).

Neste testemunho foram realizadas análises icnológicas à vista desarmada e com auxílio de lupa de bolso de 10 vezes de aumento e lupa binocular Zeiss de até 50 vezes de aumento.

Os resultados foram plotados num perfil, feito na escala 1:40, para ,dessa forma, ser possível uma melhor visualização dos dados adquiridos, além da correlação entre os dados icnológicos e sedimentológicos. A análise desses perfis tornou possível a realização de avaliações quantitativas relacionando litologia e bioturbação.

A fim de realizar uma caracterização icnológica detalhada no testemunho estudado, estabeleceu-se uma sequencia lógica de características a serem descritas. Primeiramente descreveu-se o índice de icnotrama, posteriormente a icnotaxonomia, seguida da análise etológica e finalmente a identificação de icnofácies

Por último, com base nos itens anteriormente descritos, principalmente as icnofácies, puderam ser feitas inferências quanto à coesão do substrato, paleoambientes deposicionais, além da identificação de superfícies estratigráficas.

Iknotrama, segundo Ekdale *et al.* (1984), refere-se a trama da rocha sedimentar gerada pelo retrabalhamento biogenético.

Droser & Bottjer (1986) estabeleceram um esquema de classificação baseado na quantidade de estruturas sedimentares físicas originais destruídas pelo retrabalhamento biogenético, tendendo a homogeneização do sedimento.

Para a determinação do índice de icnotrama no presente trabalho foi utilizada a tabela de classificação de índice de icnotrama de Droser & Bottjer (1989). Esta apresenta valores variando de 0 a 6. Segundo estes autores, o valor 1 corresponde ao sedimento não bioturbado, 2 à traços fósseis isolados (até 10% de bioturbação), 3 à traços fósseis isolados começando a se sobrepor (10 a 40% de bioturbação), 4 corresponde ao estágio onde os últimos vestígios de estruturas primárias são reconhecidos (40 a 60% de bioturbação), 5 ao sedimento totalmente bioturbado, mas onde ainda se reconhece as estruturas de bioturbação e 6, para o qual não há representação na tabela, corresponde ao sedimento totalmente ou quase totalmente homogeneizado (Figura 2).

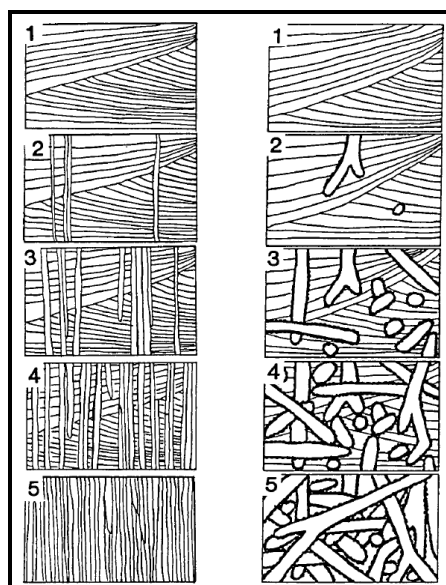


Figura 2: Diagramas esquemáticos de Droser & Bottjer (1989) representando os índices de icnotrama. Na coluna da esquerda uma icnotrama dominada pelo icnogênero *Skolithos* e à direita por *Ophiomorpha*.

A taxonomia busca por taxobases significantes a fim de aplicá-las na descrição e identificação de certos objetos. Quando este conceito é aplicado à icnologia denomina-se icnotaxonomia e tenta estabelecer e aplicar critérios específicos para a nomenclatura dos traços fósseis (Bromley, 1990 *apud* Miller, 2007).

A icnotaxonomia no poço estudado foi determinada através da descrição das estruturas de bioturbação encontradas, sendo estas associadas, devido as suas características (forma, revestimento da parede, tipo de preenchimento, etc), às estruturas já definidas na literatura. A classificação se deu quanto ao icnogênero.

Pela observação de que determinadas assembléias de traços fósseis apresentavam implicações paleoambientais, Seilacher (1964; 1967) definiu o conceito de icnofácies para ilustrar tais implicações.

Segundo Frey & Pemberton (1985) “icnocenose” é um termo paleoecológico correspondente a uma “comunidade” de traços fósseis que podem ser reconhecidos e identificados como indivíduos ambientalmente relacionados. Por outro lado “icnofácies” é um termo sedimentológico correspondente a determinada aparência (fácies) conferida ao sedimento pelos icnofósseis.

Fernandes *et al.* (2002) definem icnofácies como o registro preservado ou aspecto lítico de uma determinada icnocenose.

As icnofácies foram definidas com base no reconhecimento de assembléias de icnogêneros e seguem as definições de Frey & Pemberton (1985).

Com base nos elementos anteriormente descritos, principalmente as icnofácies, foi possível estabelecer inferências paleoambientais para as rochas das formações Pimenteira e Cabeças.

Segundo Ekdale (1988), em ambientes marinhos (possivelmente também em grandes lagos de água doce), enquanto a espessura da lâmina d'água aumenta, geralmente há um concomitante decréscimo na temperatura, penetração de luz, energia das ondas e corrente, taxa de sedimentação, granulometria do sedimento e suprimento de alimento no substrato (principais fatores que controlam a distribuição das assembléias icnofossilíferas).

Entretanto, deve-se levar em consideração que apesar destes fatores apresentarem grande influência da espessura da lâmina d'água, eles não são limitados por esta. É necessário, portanto, estar atento a todos os elementos disponíveis, icnológicos ou não, para a realização de uma análise acurada.

### 3 CONTEXTO GEOLÓGICO

A bacia do Parnaíba é classificada como uma bacia de interior cratônico, de forma elipsoidal, sendo limitada a Norte, das bacias de São Luís e Barreirinhas, pelo Arco Ferrer-Urbano Santos; a Sul, da bacia de São Francisco, pelo Arco de São Francisco e a Noroeste, do rift mesozóico do Marajó, pelo Arco de Tocantins. Esta é cortada pelos lineamentos Picos-Santa Inês e Transbrasiliano de direção NW-SE e NE-SW, respectivamente (Cordani *et al.*, 1986).

A bacia é constituída por rochas de idade paleozóica e meso-cenozóica com aproximadamente 3.500 m de espessura em seu depocentro (Vaz *et al.*, 2007). O preenchimento sedimentar paleozóico compreende as supersequências Siluriana (Grupo Serra Grande), Mesodevoniana-Eocarconífera (Grupo Canindé) e Neocarbonífera-Eotriássica (Grupo Balsas) e o preenchimento de idade meso-cenozóica as supersequências Jurássica e Cretácea. Entretanto muitos autores como Góes & Feijó (1994), Rosseti *et al.* (2001) e Vaz *et al.* (2007) consideram as sequências Jurássica e Cretácea como representantes de outra bacia (bacia do Grajaú), pois apresentam evolução tectônica distinta, relacionada diretamente aos mecanismos de abertura do Pangea (Triássico) e Gondwana (Cretáceo).

#### 3.1 Embasamento

Devido ao recobrimento fanerozóico, poucas informações podem ser obtidas do embasamento da bacia. A maioria destas foi recuperada através de testemunhos de sondagem que alcançaram o embasamento, além de afloramentos presentes nas bordas da bacia. Segundo Cunha (1986), o embasamento da bacia é constituído pela extensão, para o seu interior, das faixas de dobramentos, maciços medianos e descontinuidades crustais que afloram em suas bordas.

Cordani *et al.* (1984) e posteriormente Cunha (1986) realizaram trabalhos importantes sobre o embasamento desta bacia. Segundo Cunha (1986) a bacia do Parnaíba dispõe-se sobre um embasamento metamórfico, fortemente estruturado, constituído por rochas retrabalhadas ou formadas durante o Ciclo Brasileiro (Cunha, 1986). O limite oeste da bacia é marcado por metassedimentos pertencentes à faixa de dobramento Araguaia e a região sudoeste pela faixa Rio Preto-Riacho do Pontal, ambas dispõem-se subparalelas às bordas da bacia. Enquanto as bordas sul, noroeste, leste e nordeste correspondem, respectivamente, as faixas de dobramento

Brasília, Gurupi e Província Borborema, cujas direções estruturais atingem diagonalmente as bordas da bacia. Portanto supõe-se que estas últimas se prolonguem para o interior da mesma.

Segundo Vaz *et al.* (2007) duas unidades sedimentares foram reconhecidas e interpretadas como pertencentes ao embasamento. A Formação Riachão conforme amostras de poços, é composta por sedimentos imaturos como grauvacas, arcósios, folhelhos vermelhos, siltitos e ignimbritos. Estes depósitos são considerados de idade proterozóica média ou superior. O Grupo Jaibaras representa depósitos fluviais, aluviais e lacustres, associados à gênese da bacia. Estes afloram na região leste-nordeste da bacia, estimando-se idade cambro-ordoviciana para esses pacotes. Por meio de dados geofísicos foi possível a inferência de estruturas grábensformes para estes sedimentos.

### **3.2 Estratigrafia da bacia do Parnaíba**

A estratigrafia da bacia do Parnaíba é composta por três supersequencias sedimentares: Siluriana, Mesodevoniana-Eocarbonífera e Neocarbonífera-Eotriássica (Vaz *et al.* 2007; Figura 3).

Segundo Vaz *et al.* (2007), a supersequência Siluriana compreende o Grupo Serra Grande, proposto originalmente como grupo por Carozzi *et al.* (1975) . O Grupo serra grande é composto pelas formações Ipu, Tinguá e Jaicós.

A supersequencia Mesodevoniana-Eocarbonífera compreende o Grupo Canindé, originalmente definido por Rodrigues (1967 *apud* Young, 2003) e a unidade estudada nesse trabalho (Figura 3). O Grupo Canindé é composto pelas formações Itaim, Pimenteira, Cabeças, Longá e Poti.

Por último a supersequência Neocarbonífera-Eotriássica compreende o Grupo Balsas, originalmente proposto por Góes *et al.* (1993 *apud* Young, 2003). Este é composto pelas formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba.

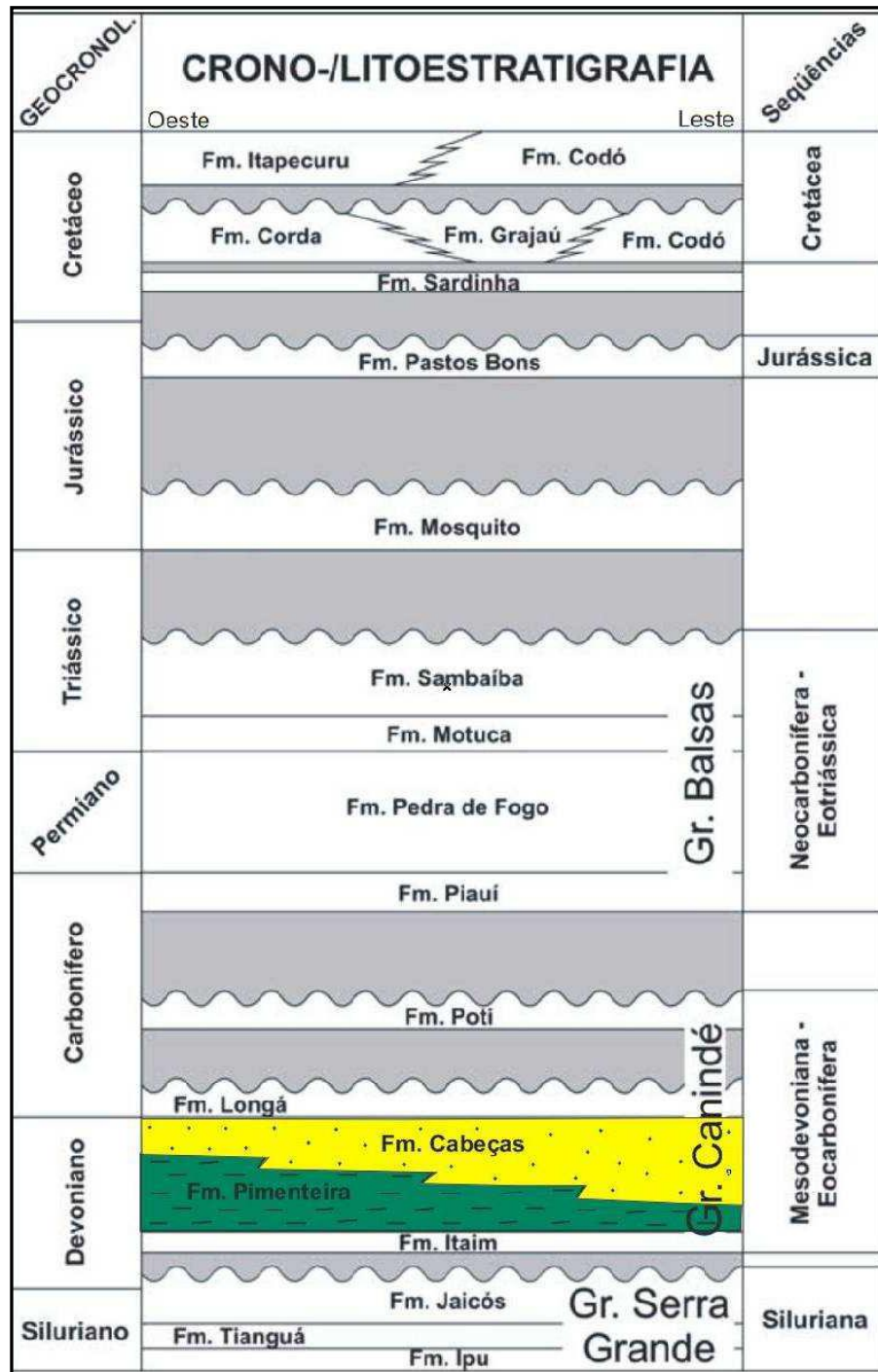


Figura 3: Coluna estratigráfica da bacia do Parnaíba, tendo assinalada a Formação Pimenteira (verde) e a Formação Cabeças (amarelo) (Denck, 2009).

Vaz *et al.* (2007) com base no biozoneamento estabelecido por Melo & Loboziak (2003) na bacia do Amazonas definiram as idades das Formações do Grupo Canindé na bacia do Parnaíba. Segundo estes autores, a Formação Pimenteira apresenta idade eifeliana-eofameniana, enquanto a Formação Cabeças apresenta idade eifeliana-fameniana (Meso-Neodevoniano).



### 3.2.1 Formação Pimenteira

Originalmente proposto por Small (1914 *apud* Young, 2006) como “folhelho Pimenteira” para identificar camadas de folhelhos aflorantes próximos à Cidade de Pimenteira, no município de Valença do Piauí, Estado do Piauí, este foi elevado ao grau de formação por Plummer (1946).

Segundo Vaz *et al.* (2007) a Formação Pimenteira (Eifeliano-Eofameniano) é composta principalmente por folhelhos cinza escuros e pretos, radioativos e ricos em matéria orgânica, esverdeados e bioturbados, ocorrendo intercalações de siltito e arenito. Estes foram depositados num ambiente “plataformar” raso (mar epicontinental) dominado por tempestades e representam a incursão marinha mais importante da bacia.

A Formação Pimenteira ocorre sotoposta à Formação Cabeças. Della Fávera (1990) interpreta um contato gradacional entre as duas formações.

O contato inferior se dá com a Formação Itaim. Oliveira & Barros (1976 *apud* Young, 2006), em estudos na borda leste da bacia, sugerem a presença de diastemas no contato entre as formações Pimenteira e Itaim.

### 3.2.2 Formação Cabeças

A denominação Formação Cabeças foi originalmente proposta por Plummer (1946) para designar uma seção de arenito que aflora na localidade de Oeiras, na antiga rodovia que liga as cidades de Picos e Floriano.

Segundo Vaz *et al.* (2007) o litotipo predominante consiste de arenitos cinza-claros a brancos, médios a grossos, com intercalações delgadas de siltitos e folhelhos. Diamictitos podem ocorrer eventualmente.

Devido à identificação de tilitos, pavimentos estriados e seixos estriados, Caputo (1984) atribuiu ambiente glacial ou periglacial para a Formação Cabeças.

Góes & Feijó (1994) defendem um ambiente plataformar sob a influência preponderante de correntes desencadeadas por processos de marés como o principal atuante nessa unidade.

A Formação Cabeças ocorre sotoposta concordantemente à Formação Longá.

### 3.2.3 Paleoambientes deposicionais

O intervalo Devoniano da bacia do Parnaíba sofreu algumas modificações em relação a sua interpretação paleoambiental ao longo dos anos.

Inicialmente a grande maioria dos autores apresentava uma interpretação muito homogênea sobre o contexto paleoambiental no qual se formaram as formações Pimenteira e Cabeças.

Della Fávera (1990) ao estudar a ocorrência de tempestitos na bacia do Parnaíba assumiu um paleoambiente marinho caracterizado por uma plataforma rasa dominada por tempestades, ocorrendo lamitos nas regiões mais distais, passando por depósitos tempestíticos, até lóbulos sigmoidais deltaicos ou ligados a processos de maré para o intervalo compreendido pelas formações Pimenteira e Cabeças.

Posteriormente Freitas (1990), com base na descrição de afloramentos de rochas com idade devoniana localizados na borda leste da bacia do Parnaíba, entre as cidades de Picos, Oeiras e Valença do Piauí, Estado do Piauí, também reconheceu a grande influência de tempestades para a deposição das rochas da Formação Pimenteira. Segundo ele, a progradação da linha de costa, em resposta ao grande aporte sedimentar, promoveu uma variação vertical gradual de fácies, de distal para proximal, reduzindo a influência de ondas de tempestade, prevalecendo a ação de correntes de maré. A Formação Cabeças compreenderia as fácies costeiras.

Della Fávera (2001) reconheceu a presença de influência deltaica na deposição dessas unidades. Este autor propôs que as rochas da Formação Pimenteira corresponderiam aos sedimentos finos do pró-delta, enquanto a Formação Cabeças corresponderia aos sedimentos mais grossos da frente deltaica.

Young (2003) propuseram pela primeira vez a ocorrência de eventos de regressão forçada dentro da Formação Pimenteira gerando os maiores intervalos de arenitos.

Borghi e Young (2003), em seu estudo em afloramentos da Fm. Pimenteira na região de Picos, Estado do Piauí, identificaram um depósito de tsunami devido a ocorrência de matacões de arenitos de cerca de 1,5 m truncando arenitos, sobre uma superfície erosiva.

Com base no estudo de palinofácies e fácies orgânicas em testemunhos de sondagem na borda leste da bacia do Parnaíba, compreendendo rochas da Formação Pimenteira, Souza (2007) reconheceu características indicadoras de paleoambiente predominantemente deltaico, em razão dos elevados valores percentuais de constituintes orgânicos de origem continental.

Como exceção esse autor identificou poucos intervalos com características mais distais nos poços estudados, interpretados como o registro de eventos transgressivos.

### 3.2.4 Relações de contato

A relação de contato entre as formações Pimenteira e Cabeças é geralmente interpretada na literatura como um processo regressivo normal (progradação costeira), passando de um paleoambiente “plataformal” raso para um paleoambiente costeiro. Dentre os autores podem ser citados Della Fávera (1990) e Freitas (1990).

Entretanto, Young (2003) em seu trabalho na borda leste da bacia do Parnaíba identificou pela primeira vez, com base em dados de testemunho e geofísicos, a ocorrência de uma superfície de regressão forçada na base de um corpo de arenito expressivo em espessura e área, dentro da formação Pimenteira. Este autor também propôs a ocorrência de uma regressão forçada no contato entre as Formações Pimenteirais e Cabeças, indo contra a interpretação mais comum de um processo regressivo normal.

## 3.3 Registro fossilífero

Segundo Santos (1998), ambas as formações apresentam assembléias fossilíferas marinhas de ambiente “plataformal”, sendo a Formação Pimenteira caracterizada por uma rica assembléia microfossilífera, composta por acritarcas e quitinozoários, e macrofossilífera composta por trilobitas, ostracódeos, braquiópodes, bivalvíos, gastrópodos, conularídeos, tentaculídeos, hiolitídeos, escolecodontes, peixes e restos vegetais.

Já a Formação Cabeças é caracterizada por uma assembléia fossilífera menos abundante, composta pelos microfósseis acritarcas e quitinozoários, e macrofósseis trilobitas, braquiópodes, tantaculites, bivalvíos e gastrópodes.

Vale ressaltar que organismos de corpo mole, como anelídeos, geralmente não são preservados. Dessa forma, a ausência desses seres no registro fossilífero não impossibilita que estes tenham sido os principais geradores das estruturas de bioturbação estudadas.

Souza (2007) utilizou-se de microfósseis identificados em testemunhos da Formação Pimenteira para fazer inferências quanto aos paleoambientes deposicionais, caracterizar essa formação quanto à geração de petróleo e identificar superfícies estratigráficas. Este autor

reconheceu no registro fossilífero dessa formação a presença de fitoclastos e palinomorfos (esporomorfos, acritarcas, prasinófitas, algas, quitinozoários e escolecodontes).

### 3.4 Histórico icnológico

A Formação Pimenteira conta com um número razoável de publicações a cerca de seu conteúdo icnofossilífero, enquanto poucos trabalhos podem ser encontrados caracterizando o conteúdo icnológico da Formação Cabeças.

Alguns dos primeiros trabalhos com enfoque icnológico realizados para a seção devoniana da bacia do Parnaíba constam da década de 1960 com os estudos de Kegel. Kegel (1966) identificou icnofósseis do grupo dos *Nereites*, do grupo dos *Skolithos*, propondo a denominação *Neoskolithos picosensis*, além de rastros de *Spirophyton* e do grupo dos *Bilobites* perto de Picos, Estado do Piauí.

Posteriormente, Ferreira & Fernandes (1983) identificaram a ocorrência de traços fósseis na Formação Pimenteira no Estado de Goiás.

Fernandes *et al.* (2002) publicaram um guia de icnofósseis de invertebrados com ocorrência no Brasil de grande utilidade onde reuniram todas as informações quanto aos icnogêneros e icnoespécies descritos até o momento na literatura das bacias sedimentares brasileiras. Nele encontram-se descrições de ocorrências de icnogêneros na Formação Pimenteira, assim como na Formação Cabeças.

Young *et al.* (2002; 2006) ao estudarem testemunhos de sondagem da borda leste da bacia identificaram 2 icnofácies distintas para esta formação, com subdivisões. Nos corpos de arenitos (tempestitos) intercalados a siltitos e folhelhos foram identificados os icnogêneros, *Arenicolites*, *Asterosoma*, *Cylindrichnus*, *Rosselia*, *Skolithos* e *Palaophycus* agrupadas nas icnofácies *Skolithos* e *Cruziana*. Nas sucessões de fácies lutíticas e heterolíticas foram identificados os icnogêneros *Asterosoma*, *Chondrites*, *Cylindrichnus*, *Helmintopsis*, *Isopodichnus*, *Macaronichnus*, *Rhizocorallium*, *Subphyllochora*, *Skolithos*, *Teichichnus*, *Planolites* e *Zoophycos*, agrupados nas icnofácies *Cruziana* (proximal, arquetípica e empobrecida) e *Zoophycos*.

Na última década, Agostinho, junto com outros autores, realizou diversos trabalhos na Formação Pimenteira identificando traços fósseis, dentre eles Agostinho & Fernandes (2001), Agostinho *et al.* (2001; 2002; 2003; 2004), Agostinho (2005), Agostinho & Filho (2006). Diversos icnogêneros foram identificados, como *Arenicolites* isp., *Bifungites piauiensis*,

*Lockeia* isp., *Neoskolithos picosensis*, *Palaeophycus tubularis*, *Skolithos linearis*, dentre outros, sempre atribuídos à icnofácies Cruziana, num contexto de plataforma rasa e planícies de maré de baixa energia.

## 4 RESULTADOS

O poço NA-1-TO evidencia o contato entre duas unidades litológicas distintas. O intervalo superior do poço corresponde a Formação Cabeças, onde ocorrem arenitos finos a médios, com estratificação cruzada delineada por grãos de minerais pesados; arenitos finos a médios com estratificação cruzada e plano-paralela (sem grãos de minerais pesados), ocorrendo esteiras algais; siltitos arenosos muito bioturbados e em seu topo e sua base diamictitos argilosos de cor cinza. A Formação Cabeças está representada nos primeiros 109,9 m do poço.

Sotopostos às rochas da Formação Cabeças ocorrem folhelhos laminados de cor cinza escura e fácies heterolítica (folhelhos com lâminas delgadas de arenito fino) correspondentes à Formação Pimenteira. Esta formação está representada nos últimos 34,1 m do poço.

### 4.1 Índice de Icnograma

Através da análise do índice de icnograma foi confeccionada uma coluna ao lado do perfil sedimentológico, na qual o índice de icnograma é representado por barras cheias com valor variando de 0 a 6. A utilização desse método ao longo do perfil sedimentológico possibilitou a quantificação da espessura total de rocha correspondente a cada um dos valores de índice de icnograma para ambas as formações estudadas. Posteriormente essas espessuras foram convertidas para percentagem visando à comparação entre as duas unidades.

Devido à determinação desses valores foi possível estabelecer uma relação entre as litologias e a presença de estruturas de bioturbação (Figura 4),

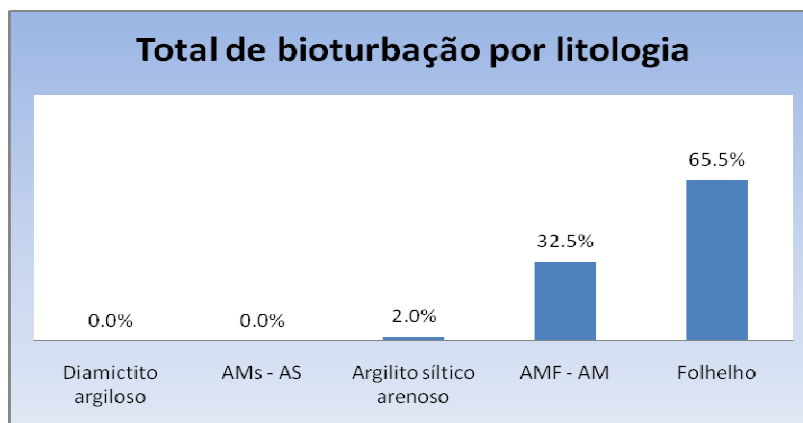


Figura 4: Total de bioturbação distribuído por cada litologia. AMs-AS corresponde a arenito médio superior a arenito seixoso enquanto AMF-AM corresponde a arenito muito fino a médio. Folhelho ocorre apenas na Formação pimenteira, representando quase sua totalidade.

Através da observação desse gráfico pode-se concluir que os icnofósseis concentram-se em sedimentos finos. Isto poderia ocorrer por dois motivos. Os sedimentos mais grosseiros indicam a atuação de processos de energia mais elevada, acentuando o retrabalhamento físico e destruindo as estruturas biogênicas, o que pode explicar sua ausência. Por outro lado essas rochas mais grossas ocorrem predominantemente na Formação Cabeças, podendo indicar deposição em ambientes continentais, possivelmente fluviais, o que explicaria uma pequena quantidade ou ausência de traços fósseis. A ausência de bioturbações nos diamictitos, segundo a literatura, gerados em ambiente glacial, provavelmente reflete as condições estressantes para a vida presente nesse ambiente, reduzindo assim a diversidade e abundância de organismos.

Também foi possível determinar um padrão de distribuição de índice de icnotrama para cada uma das duas unidades (Figura 5).

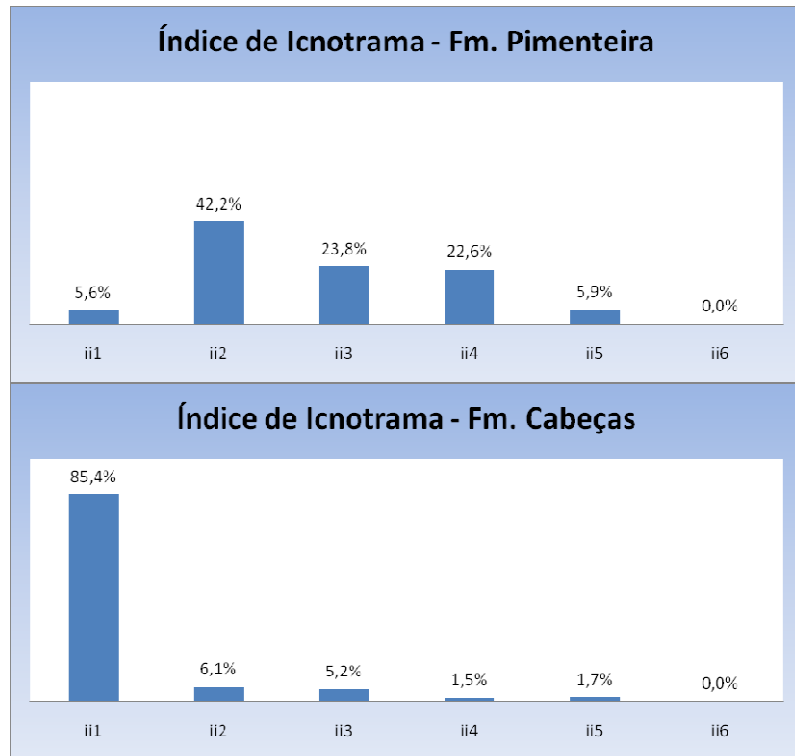


Figura 5: Distribuição do índice de icnotrama para as duas unidades estudadas.

Pode-se concluir a partir da observação desses dois gráficos que nas duas formações ocorre uma tendência decrescente de abundância de estruturas encontradas em relação ao aumento do índice de icnotrama. Entretanto, enquanto na Formação Cabeças predomina o índice 1, indicando ausência de bioturbação, na Formação Pimenteira predomina o índice 2, indicando predomínio de baixo grau de bioturbação, embora quase sempre presente.

Os valores baixos de Índice de Icnotrama encontrados no poço estudado incluem as rochas das Formações Pimenteira e Cabeças na classificação proposta por Bottjer & Droser (1991) para “bacias com baixa icnotrama”.

A distribuição encontrada na Formação Pimenteira se assemelha mais ao gráfico hipotético proposto por esses autores para lamitos e arenitos plataformais (Figura 6).



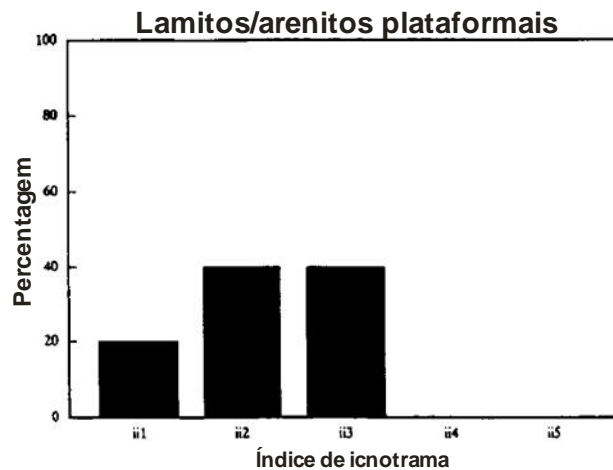


Figura 6: Distribuição de índice de icnotrama para lamitos e arenitos plataformais (Bottjer & Droser, 1991).

Entretanto neste gráfico não ocorrem os índices 4 e 5 ao contrario do que é visto nas rochas estudadas.

Já a distribuição encontrada para a Formação Cabeças se assemelha mais ao gráfico hipotético proposto para leques de oceano profundo (Figura 7), o que não coincide com a literatura, litologias encontradas e nem com o conteúdo icnológico presente. O segundo gráfico que mais se assemelha ao encontrado nesse trabalho corresponde a arenitos de ambiente marinho raso (Figura 7). Esta última interpretação assemelha-se mais ao que se esperaria encontrar para essa formação.

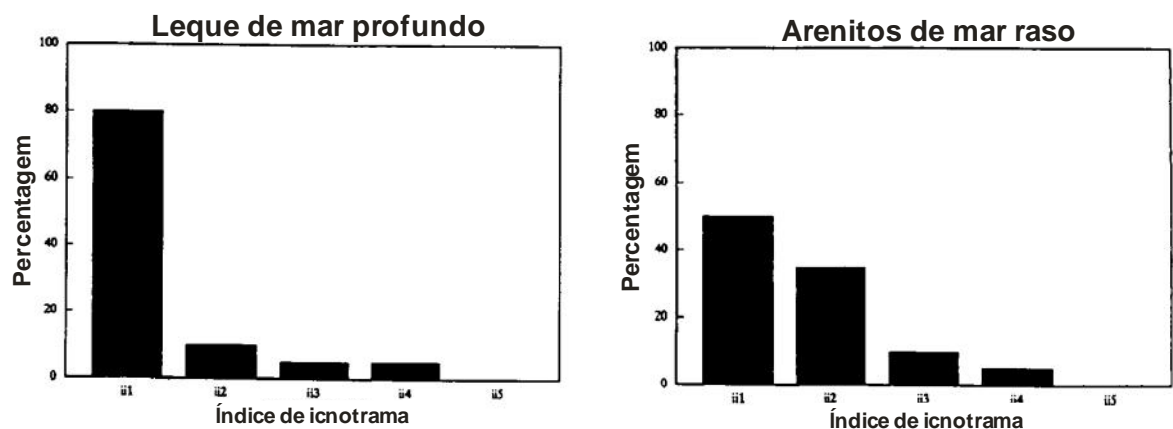


Figura 7: Distribuição de índice de icnotrama para leques de mar profundo e arenitos de mar raso (Bottjer & Droser, 1991).

Por outro lado pode-se observar que nos primeiros 65,1 m do testemunho, correspondentes à Formação Cabeças, praticamente não ocorrem estruturas de bioturbação. Apenas um pequeno trecho apresenta algum grau de bioturbação com estruturas indistintas o

que pode indicar a predominância de ambientes continentais, provavelmente fluviais para esse trecho. Dessa forma, ao excluir esse intervalo superior obtêm-se um padrão intermediário (Figura 8) entre os dois padrões hipotéticos.

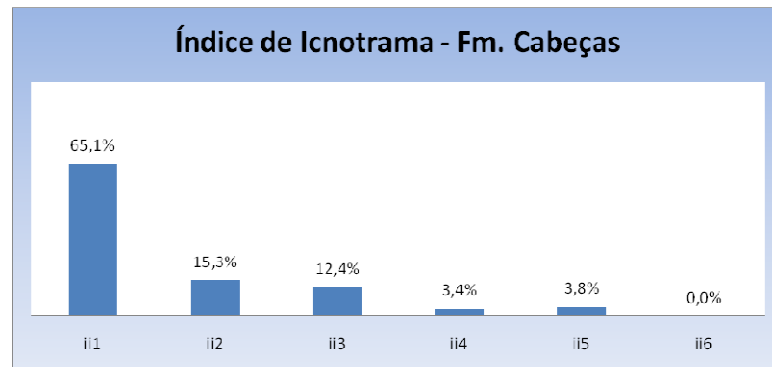


Figura 8: Distribuição do Índice de Icnotrama revisado para a Formação Cabeças.

## 4.2 Icnotaxonomia

Como resultado da análise de icnofácies foi possível identificar os icnogêneros listados abaixo.

### ***Arenicolites* Salter, 1857**

*Arenicolites* isp.

(Estampa A, Figura 1)

Diagnose: Escavações em forma de U ou J perpendiculares à estratificação sedimentar. As paredes das escavações geralmente apresentam revestimento argiloso.

Descrição: Estruturas com cerca de 2 mm de diâmetro e 20 mm de comprimento, alcançando até 70 mm. Ocorrem de forma isolada em arenitos, de cor clara, muito finos superiores à arenitos médios.

Estruturas físicas associadas: Estratificações cruzadas plano-paralelas, de baixo ângulo, planares, acamamento riscado e esteiras algais.

Interpretação Etológica: Estrutura de habitação/alimentação de artrópodes ou anelídeos, incluindo organismos de hábito suspensívoro.

Profundidade de ocorrência típica: 67,00 m

***Asterosoma*, von Otto, 1854**

*Asterosoma* isp.

(Estampa A, Figura 2)

Diagnose: Escavações horizontais a inclinadas em relação à estratificação sedimentar. Apresentam-se geralmente com forma elíptica, contendo um tubo central, esférico ou elíptico, bordejado por lâminas concêntricas de silte ou argila.

Descrição: Estruturas com cerca de 5 mm de diâmetro, chegando à 15 mm, e superando 45 mm de comprimento. Ocorrem de forma isolada em folhelhos argilosos e arenitos médios.

Estruturas físicas associadas: Estratificações plano-paralelas e acamamento riscado.

Interpretação Etológica: Estrutura de alimentação gerada por anelídeos. Os anéis seriam gerados pela passagem repetitiva do verme pelas galerias visando alargá-las.

Profundidade de ocorrência típica: 71,15 m

***Bergaueria* Prantl, 1945**

*Bergaueria* isp.

(Estampa A, Figura 3)

Diagnose: Escavações verticais circulares em superfície, afunilando em direção a base. Seu extremo inferior é pouco mais estreito que o superior e a razão entre o comprimento e o diâmetro da estrutura não é muito maior que 1. Seu preenchimento é comumente maciço, mas podem ocorrer lâminas com deflexão suave para baixo.

Descrição: Apresenta em geral 6 mm de altura e 10 mm de largura, podendo ocorrer estruturas maiores. Ocorrem em arenitos muito finos superiores a finos, de forma isolada ou concentrados em superfícies.

Estruturas físicas associadas: Estratificações plano-paralelas e cruzadas de baixo ângulo.

Interpretação Etológica: Estrutura de habitação ou repouso gerada por organismos semelhantes a anêmonas.

Profundidade de ocorrência típica: 67,55 m

***Cylindrichnus* Toots in Howard, 1966**

*Cylindrichnus* isp.

(Estampa A, Figura 4)

Diagnose: Escavações afuniladas afinando para a base, inclinadas em relação à estratificação sedimentar. Em seu extremo inferior apresenta concavidade positiva suave formando um tubo em forma de J. Pode apresentar lâminas com deflexão para baixo em seu preenchimento.

Descrição: Atingem 30 mm de diâmetro na parte superior da estrutura, chegando a 60 mm de comprimento. Formas menores também estão presentes. Ocorrem isolados em arenitos muito finos superiores a finos.

Estruturas físicas associadas: Estratificações plano-paralelas, cruzadas de baixo ângulo, esteiras algais e acamamento riscado.

Interpretação Etológica: Estrutura de habitação na qual no sedimento ao cair dentro do tubo é imediatamente pressionado contra sua parede pelo organismo.

Profundidade de ocorrência típica: 66,90 m

### ***Diplocraterion* Torell, 1870**

*Diplocraterion* isp.  
(Estampa A, Figura 5)

Diagnose: Escavações verticais formadas pela sobreposição de tubos em forma de U, apresentando tanto *spreiten* protrusivo quanto retrusivo, orientadas perpendicularmente em relação à estratificação sedimentar.

Descrição: Chegam a atingir 50 mm de comprimento, com diâmetro do tubo com cerca de 5 mm. Formas menores estão presentes. Ocorrem de forma isolada em arenitos muito finos a muito finos superiores.

Estruturas físicas associadas: Estratificação plano-paralela, cruzada de baixo ângulo e acamamento riscado.

Interpretação Etológica: Estrutura de equilíbrio construídas por anelídeos sedimentófagos.

Profundidade de ocorrência típica: 68,20 m

### ***Gyrolithes* Saporta, 1884**

*Gyrolithes* isp.  
(Estampa A, Figura 6)

Diagnose: Escavações helicoidais de eixo vertical com preenchimento arenoso, ocorrendo em seção como pares de tubos de forma elíptica se alternando sequencialmente em direção à base da estrutura.

Descrição: Estruturas com cerca de 2 mm de diâmetro e 10 mm de comprimento do eixo de enrolamento, ocorrendo de forma isolada em folhelho argiloso.

Estruturas físicas associadas: Ausente.

Interpretação Etológica: Estrutura de habitação gerada por crustáceos.

Profundidade de ocorrência típica: 141,50 m

***Helminthopsis* Heer, 1877***Helminthopsis* isp.

(Estampa B, Figura 1)

Diagnose: Escavações milimétricas horizontais a inclinadas em relação à estratificação sedimentar. Ocorrem comumente aglomeradas e apresentam preenchimento argiloso de cor escura.

Descrição: Estruturas com cerca de até 1 mm de espessura e cerca de 3 mm de comprimento, podendo alcançar 10 mm, ocorrendo em folhelhos argilosos e mais raramente em arenitos muito finos como aglomerados ou concentrados em superfícies.

Estruturas físicas associadas: Geralmente ausente. Ocorre acamamento riscado.

Interpretação Etológica: Estrutura de alimentação geradas por pequenos anelídeos sedimentófagos infaunais.

Profundidade de ocorrência típica: 123,35 m

***Lockeia* James, 1879***Lockeia* isp.

(Estampa B, Figura 2)

Diagnose: Pequenas escavações oblongas ou arredondadas preservadas como hiporelevo convexo.

Descrição: Estruturas com cerca de 5 mm de diâmetro e 2 mm de largura, algumas apresentando formas mais circulares. Ocorrem concentradas em determinadas superfícies.

Estruturas físicas associadas: Estratificação cruzada planar.

Interpretação Etológica: Icnito de repouso ou locomoção gerado pela ação de moluscos sobre o substrato sedimentar.

Profundidade de ocorrência típica: 66.80 m

***Macaronichnus* Clifton & Thompson, 1978***Macaronichnus* isp.

(Estampa B, Figura 3)

Diagnose: Escavações distribuídas de forma aleatória homogeneizando a rocha. Constituem pequenos tubos com preenchimento igual ao da matriz e uma tênue parede composta por grãos de minerais pesados. O preenchimento semelhante à matriz e a presença de uma parede pouco definida dificultam sua identificação.

Descrição: Diâmetro varia de 3 a 15 mm e comprimento superior a 45 mm.

Estruturas físicas associadas: Estratificações plano-paralelas e cruzadas de baixo ângulo.

Interpretação Etológica: Estrutura de alimentação gerada por pequenos anelídeos sedimentófagos infaunais que segregam grãos de minerais pesados. Comumente associados a face de praia.

Profundidade de ocorrência típica: 69,45 m

### ***Monocraterion* Torell, 1870**

*Monocraterion* isp.  
(Estampa B, Figura 4)

Diagnose: Escavações perpendiculares à estratificação com sua terminação superior afunilada, enquanto o resto da estrutura é cilíndrico. Em seu preenchimento comumente ocorrem lâminas com deflexão para baixo e pode apresentar-se com tonalidade diferente da matriz.

Descrição: Topo com cerca de 12 mm de largura e base com cerca de 5 mm de largura. Comprimento total em torno de 50 mm.

Estruturas físicas associadas: Estratificação plano-paralela e cruzada de baixo ângulo.

Interpretação Etológica: Estrutura de habitação gerada por anelídeos.

Profundidade de ocorrência típica: 65,45 m

### ***Palaeophycus* Hall, 1847**

*Palaeophycus* isp.  
(Estampa B, Figura 5)

Diagnose: Escavações horizontais a inclinadas em relação à estratificação sedimentar, não ramificadas, com preenchimento geralmente semelhante à matriz e parede revestida por sedimento argiloso. Em seção geralmente apresenta-se como um tubo arenoso de forma elíptica com parede argilosa.

Descrição: Apresenta cerca de 5 mm de diâmetro, ultrapassando 45 mm de comprimento e parede argilosa com cerca de 1 mm de espessura. Ocorre de forma isolada em folhelhos argilosos, arenitos muito finos superiores, finos e finos superiores.

Estruturas físicas associadas: Estratificação plano-paralela, cruzada de baixo ângulo, esteiras algais, e acamamento riscado.

Interpretação Etológica: Escavações de habitação/locomução geradas por pequenos artrópodes ou anelídeos infaunais.

Profundidade de ocorrência típica: 78,35 m

***Planolites* Nicholson, 1873***Planolites* isp.

(Estampa B, Figura 6)

Diagnose: Escavações horizontais a inclinadas em relação à estratificação sedimentar, não ramificadas, com preenchimento diferente da matriz e paredes simples sem revestimento. Em seção geralmente apresenta forma elíptica.

Descrição: Cerca de 5 mm de diâmetro e comprimento ultrapassando 45 mm, ocorrendo de forma isolada em folhelhos argilosos, arenitos siltico arenosos, e arenitos muito fino superiores.

Estruturas físicas associadas: Estratificação plano-paralela, cruzada de baixo ângulo e acamamento riscado.

Interpretação Etológica: Estrutura de alimentação/deslocamento de organismos sedimentófagos infaunais, provavelmente pequenos anelídeos.

Profundidade de ocorrência típica: 140,40 m

***Psilonichnus* Fürsich, 1981***Psilonichnus* isp.

(Estampa C, Figura 1)

Diagnose: Escavações cilíndricas em forma de Y perpendiculares à estratificação sedimentar. As paredes das escavações apresentam preenchimento argiloso.

Descrição: Cerca de 1 mm de diâmetro e comprimento ultrapassando 45 mm. Ocorrem em arenitos médios, concentrados num único intervalo.

Estruturas físicas associadas: Estratificação cruzada de médio porte.

Interpretação Etológica: Estruturas de habitação/alimentação de artrópodes e anelídeos. Geralmente associado a ambientes de água salobra e estuários.

Profundidade de ocorrência típica: 79,10 m

***Rhizocorallium* Zenker, 1836***Rhizocorallium* isp.

(Estampa C, Figura 2)

Diagnose: Escavações em forma de U que se apresentam inclinadas em relação à estratificação sedimentar, tornando-se horizontais para a base. Apresentam *spreiten* com meniscos comumente argilosos e preenchimento arenoso.

Descrição: Apresenta cerca de 10 mm de largura e comprimento, podendo ocorrer estruturas maiores. Ocorre de forma isolada em arenitos muito finos superiores, muito fino e folhelhos argilosos.

Estruturas físicas associadas: Marca de calha e acamamento riscado.

Interpretação Etológica: Estrutura de alimentação gerada por anelídeos sedimentófagos.

Profundidade de ocorrência típica: 116,00 m

***Rosselia Dahmer, 1937***

*Rosselia* isp.

(Estampa C, Figura 3)

Diagnose: Escavações verticais perpendiculares à estratificação sedimentar. O topo da estrutura apresenta-se erodido, restando uma feição cônica afunilando para a base, preenchida por sedimento argiloso, podendo conter um tubo central vertical preenchido por sedimento arenoso.

Descrição: Apresenta cerca de 30 mm de diâmetro e 35 mm de comprimento, com tubo central de 2 mm de diâmetro e 7 mm de comprimento. Ocorre de forma isolada em arenitos muito finos superiores.

Estruturas físicas associadas: Estratificação plano-paralela e cruzada de baixo ângulo.

Interpretação Etológica: Estrutura de alimentação/habitação gerada por anelídeos suspensívoros.

Profundidade de ocorrência típica: 68,45 m

***Skolithos Haldemann, 1840***

*Skolithos* isp.

(Estampa C, Figura 4)

Diagnose: Escavações cilíndricas perpendiculares à estratificação sedimentar, sem ramificações. As paredes das escavações geralmente apresentam preenchimento argiloso, com exceção apenas para as escavações/perfurações feitas em sedimento argiloso semi-consolidado.

Descrição: Varia de 1 a 5 mm de diâmetro, chegando a 150 mm de comprimento. Ocorrem de forma isolada ou concentrados em certos intervalos em arenitos muito finos superiores a médios.

Estruturas físicas associadas: Estratificação plano-paralela, cruzada de baixo ângulo, cruzada planar e acamamento riscado.



Interpretação Etológica: Estruturas de habitação/alimentação de artrópodes e anelídeos, incluindo organismos suspensívoros.

Profundidade de ocorrência típica: 78,15 m

***Taenidium* Heer, 1877**

*Taenidium* isp.

(Estampa C, Figura 5)

Diagnose: Escavações horizontais a inclinadas em relação à estratificação sedimentar, com preenchimento diferente da matriz e estrutura meniscada, quando vistas em seção.

Descrição: Cerca de 2 mm de diâmetro e 10 mm de comprimento. Ocorre de forma isolada em argilito siltico arenoso.

Estruturas físicas associadas: Ausente.

Interpretação Etológica: Pequenas estruturas de alimentação/deslocamento geradas por organismos sedimentófagos, provavelmente anelídeos, que abitam corpos de água doce a salobra.

Profundidade de ocorrência típica: 88,30 m

***Teichichnus* Seilacher, 1955**

*Teichichnus* isp.

(Estampa C, Figura 6)

Diagnose: Escavações horizontais a inclinadas em relação a estratificação sedimentar, com *spreiten*, geralmente retrusivo. Comumente pode-se observar o último tubo, circular ou elipsoidal, com preenchimento arenoso, enquanto os meniscos são compostos por silte ou argila. Em seção lateral pode-se observar apenas o *spreiten*, sem o tubo principal. Apresenta-se como lâminas arenosas pouco côncavas, positivamente, separadas por meniscos argilosos ou siltosos.

Descrição: Apresenta cerca de 5 mm de diâmetro, podendo chegar a 27 mm, e ultrapassa 45 mm de comprimento. Ocorre de forma isolada em folhelhos argilosos e arenitos muito finos superiores.

Estruturas físicas associadas: Acamamento riscado e marca de calha.

Interpretação Etológica: Estrutura de alimentação gerada por organismos sedimentófagos infaunais, provavelmente anelídeos.

Profundidade de ocorrência típica: 139,80 m

***Thalassinoides* Ehrenberg, 1944**

*Thalassinoides* isp.

(Estampa D, Figura 1)

Diagnose: Escavações horizontais ramificadas em forma de Y ou T, com junções alargadas. Apresenta-se, em seção, como tubos, geralmente circulares de diâmetro superior às outras escavações, sem paredes revestidas e com preenchimento arenoso maciço ou por vezes horizontalmente laminado, evidenciando preenchimento passivo.

Descrição: Estruturas com diâmetro variando entre 5 e 15 mm e comprimento superando 45 mm. Ocorrem de forma isolada ou concentradas em certos intervalos, em folhelhos argilosos e arenitos muito finos superiores.

Estruturas físicas associadas: Acamamento riscado e marca de calha.

Interpretação Etológica: Escavações de habitação geralmente construídas por crustáceos construtores de galerias verticais interligadas por tubos horizontais.

Profundidade de ocorrência típica: 136,70 m

***Zoophycos* Massalongo, 1855**

*Zoophycos* isp.

(Estampa D, Figura 2)

Diagnose: Estruturas helicoidais de eixo vertical geradas pela sobreposição de tubos subhorizontais em forma de U. Em seção não foi possível observar *spreiten*. A estrutura foi caracterizada pela presença de lâminas argilosas subhorizontais truncando suavemente a estratificação sedimentar. Em superfície dificilmente pode-se observar meniscos curvados em forma de hélice iniciando-se num pequeno tubo vertical com preenchimento arenoso.

Descrição: As lâminas argilosas apresentam cerca de 2 mm de espessura, podendo superar 45 mm de extensão. O tubo central preenchido por sedimento arenoso apresenta cerca de 5 mm de diâmetro. Ocorrem de forma isolada ou concentradas em certos intervalos, em folhelhos argilosos.

Estruturas físicas associadas: Acamamento riscado e marca de calha.

Interpretação Etológica: Estrutura de alimentação gerada por organismos sedimentófagos, provavelmente anelídeos.

Profundidade de ocorrência típica: 123,35 m

### **Estruturas de escape** (Estampa D, Figura 4)

Diagnose: Escavações verticais perpendiculares à estratificação sedimentar, apresentando deflexões para baixo das lâminas sedimentares ou estruturação caótica.

Descrição: Apresentam cerca de 5 mm de diâmetro e 20 mm de comprimento, chegando a 55 mm. Ocorrem em arenitos muito finos superiores a finos de forma isolada ou concentradas em certos intervalos.

Estruturas físicas associadas: Estratificações plano-paralelas, cruzadas de baixo ângulo, cruzadas planares e acamamento riscado.

Interpretação Etológica: Escavações de equilíbrio geradas por organismos em fuga devido a um rápido soterramento.

Profundidade de ocorrência típica: 71,35 m

### **Pistas epiestratais** (Estampa D, Figura 3)

Diagnose: Escavações horizontais epiestratais representadas por sulcos simples e rasos entre lâminas de folhelho ou na base de pequenas lâminas arenosas. Muitas vezes ocorre como hiporelevo convexo. Sua observação em testemunho é muito restrita devido à pequena área de ocorrência. Por esse motivo não foi possível caracterizar um icnogênero.

Descrição: Sulcos de até 10 mm de largura e ultrapassando 45 mm de comprimento, ocorrendo, de forma isolada ou concentrados em certas superfícies, em folhelhos argilosos e arenitos muito finos superiores a finos.

Estruturas físicas associadas: Acamamento riscado e marca de calha.

Interpretação Etológica: Estruturas de deslocamento/pastagem geradas pelo deslocamento de organismos epiestratais sobre o substrato geralmente lamoso.

Profundidade de ocorrência típica: 137,3 m

## Estampa A

Figura 1: *Arenicolites* isp. em forma de J com parede revestida por sedimento argiloso (profundidade 67,0 m, Fm. Cabeças).

Figura 2: *Asterosoma* isp apresentando tubo central com preenchimento arenoso e parede revestida por lâminas concêntricas de sedimento argiloso (profundidade 71,15 m, Fm. Cabeças).

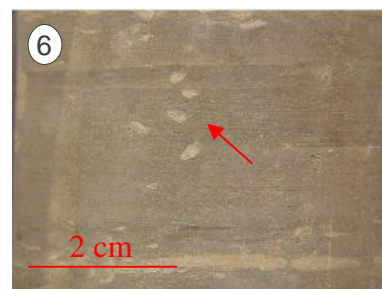
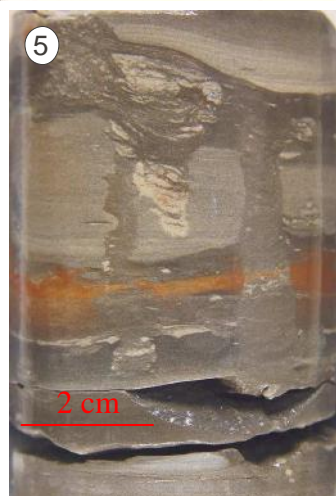
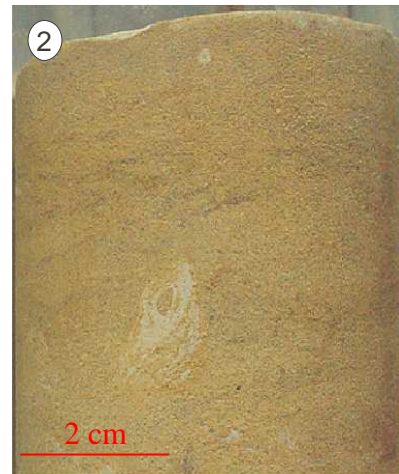
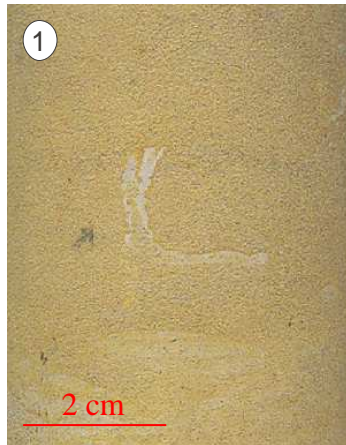
Figura 3: *Bergaueria* isp. apresentando forma cônica, com lâminas ricas em minerais pesados voltadas para baixo em seu preenchimento (profundidade 67,20 m, Fm. Cabeças).

Figura 4: *Cylindrichnus* isp. com preenchimento distinto da matriz evidenciando sua forma cônica, mas com a base curvada. Observam-se grãos de minerais pesados concentrados num dos lados da estrutura devido a ação do organismo gerador da estrutura (profundidade 66,90 m, Fm Cabeças).

Figura 5: *Diplocraterion* isp. apresentando *spreiten* com concavidade para cima indicando ação retrusiva do organismo gerador (profundidade 136,65 m, Fm. Pimenteira).

Figura 6: ?*Gyrolithes* isp. composto por uma sequência de quatro pequenos tubos com preenchimento arenoso, possivelmente conectados numa forma helicoidal (profundidade 141,10 m, Fm. Pimenteira).

## Estampa A



## Estampa B

Figura 1 *Helminthopsis* isp. caracterizado pela ocorrência de pequenos tubos sub-horizontais com preenchimento argiloso de cor escura (profundidade 123,35 m, Fm. Pimenteira).

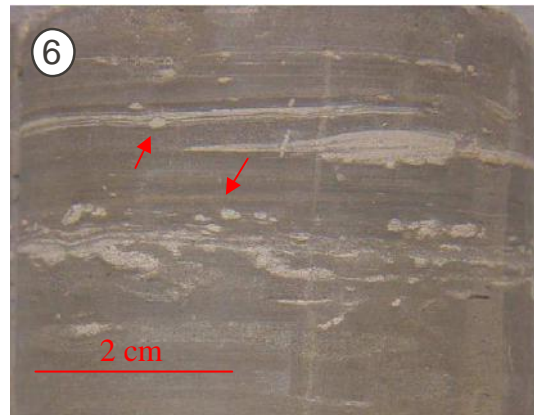
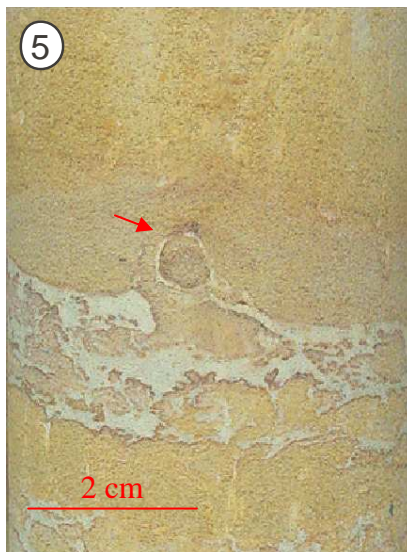
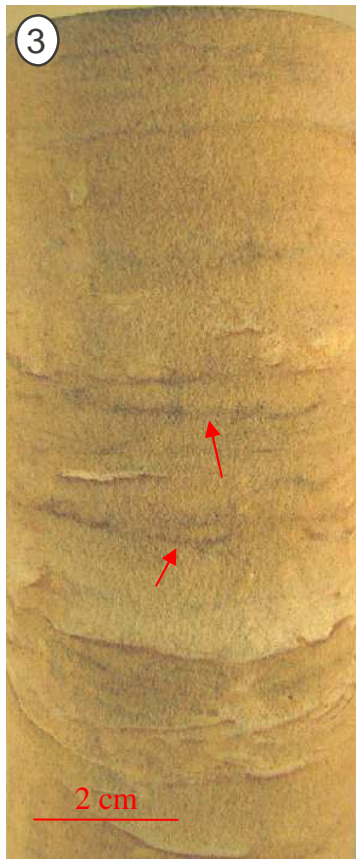
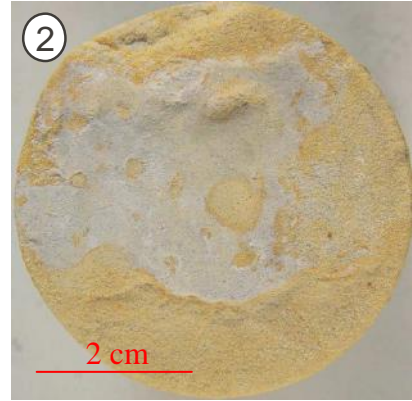
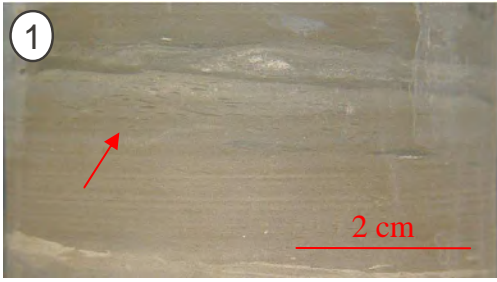
Figura 2: *Lockeia* isp. apresentado indivíduos de forma oblonga a arredondada preservados como hiporelevo convexo (profundidade 66,80 m, Fm. Cabeças).

Figura 3: *Macaronichnus* isp. ocorrendo como tubos sub-horizontais apresentando paredes com grande concentração grãos de minerais pesados (profundidade 69,50 m, Fm. Cabeças).

Figura 4: *Monocraterion* isp. com o topo da estrutura afunilado, apresentando preenchimento arenoso, mas com tonalidade diferente da matriz, e base cilíndrica onde pode-se observar lâminas voltadas para baixo (profundidade 65,45 m, Fm. Cabeças).

Figura 5: *Palaeophycus* isp. evidenciado por um tubo horizontal preenchido por sedimento arenoso semelhante a matriz e contendo parede revestida por sedimento argiloso (profundidade 78,35 m, Fm. Cabeças).

Figura 6: *Planolites* isp. ocorrendo como pequenos tubos com preenchimento arenoso, sem paredes revestidas, em meio a uma matriz argilosa (profundidade 142,20 m, Fm. Pimenteira)





## Estampa C

Figura 1: *Psilonichnus* isp. ocorrendo como um tubo em forma de Y com parede revestida por sedimento argiloso (profundidade 79,20 m, Fm. Cabeças).

Figura 2: *Rhizocorallium* isp. apresentando *spreiten* gerado pela sobreposição de tubos sub-horizontais a inclinados (profundidade 131,90 m, Fm. Pimenteira).

Figura 3: *Rosselia* isp. com forma aproximadamente cônica apresentando preenchimento argiloso e um tubo central com preenchimento arenoso (profundidade 68,45 m, Fm. Cabeças).

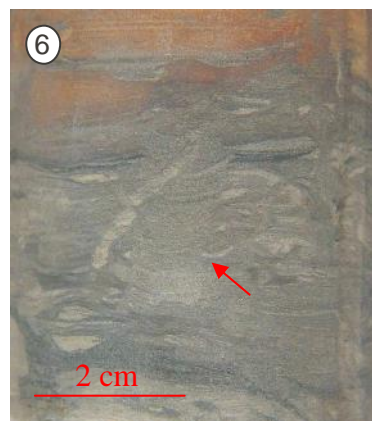
Figura 4: *Skolithos* isp. ocorrendo como tubos verticais com preenchimento arenoso e paredes revestidas por sedimento argiloso (profundidade 78,15 m, Fm. Cabeças).

Figura 5: *Taenidium* isp. apresentando-se como uma pequena estrutura sub-horizontal com preenchimento meniscado, igual a matriz (profundidade 88,30 m Fm. Cabeças).

Figura 6: *Teichichnus* isp. apresentando *spreiten* gerado pela sobreposição vertical de tubos horizontais (profundidade 139,80 m, Fm. Pimenteira).



## Estampa C



## Estampa D

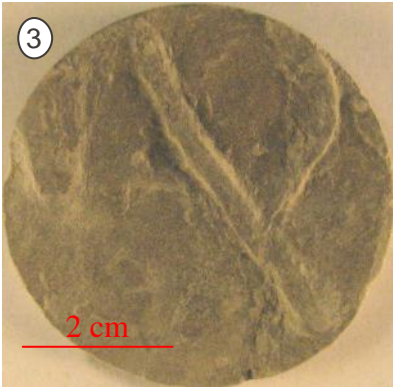
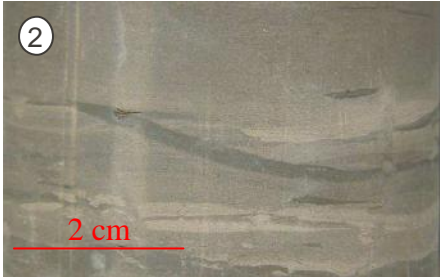
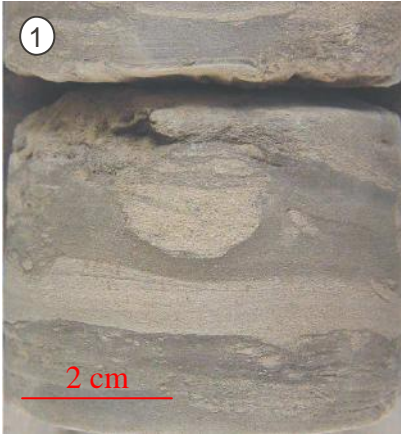
Figura 1: *Thalassinoides* isp. ocorrendo como tubo horizontal de grande porte, sem paredes revestida e com preenchimento laminado (profundidade 132,20 m, Fm. Pimenteira).

Figura 2: *Zoophycos* isp. apresentando-se como lâminas argilosas inclinadas truncando suavemente as estruturas sedimentares físicas (profundidade 112,90 m, Fm. Pimenteira).

Figura 3: Pista epiestratal ocorrendo como sulcos em sedimento argiloso e preservada como hiporelevo convexo na base dessas camadas (profundidade 116,75 m, Fm. Pimenteira).

Figura 4: Estrutura de escape onde observa-se claramente lâminas com grande concentração de grãos de minerais pesados voltadas para baixo (profundidade 71,35 m, Fm. Cabeças).

Estampa D



### 4.3 Determinação de icnofácies

A determinação dos icnogêneros, assim como suas associações, no presente trabalho, possibilitaram a identificação de quatro icnofácies distintas, seguindo as definições de icnofácies apresentadas por Frey & Pemberton (1985), sendo uma continental e três marinhas.

#### **Icnofácies Continental**

##### **Icnofácies Scoyenia- Formação Cabeças** (Estampa E)

Diagnose: Pequenas escavações tubulares, horizontais, curvadas a tortuosas, podendo apresentar preenchimento meniscado, geradas por invertebrados sedimentófagos.

Litologias associadas: Argilito siltico arenoso.

Estruturas físicas associadas: Ausente.

Icnogêneros presentes: *Planolites* e *Taenidium*.

Tipo de substrato: Sedimentos arenosos a argilosos onde as escavações permanentes necessitam de margens estabilizadas (*looseground*).

Paleoambiente deposicional: Ambientes continentais de transição, subaquáticos a subaéreos, como lagunas ou lagos rasos.

Profundidade de ocorrência típica: 87,40 m a 88,30 m.

#### **Icnofácies Marinhas**

##### **Icnofácies Glossifungites – Formação Pimenteira** (Estampa F)

Diagnose: Escavações/perfurações de habitação verticais cilíndricas ou em forma de U, com *spreiten*, sem revestimento nas paredes. Encontram-se preenchidas por sedimento arenoso (preenchimento passivo). No caso do icnogênero *Thalassinoides* são construídas galerias apresentando inúmeras ramificações horizontais. Ocorre sobreposta à icnofácies Cruziana, podendo alterar o valor do índice de icnotrama observado, gerando valores elevados de intensidade de bioturbação em seções originalmente empobrecidas. A camada arenosa que originou o preenchimento das estruturas pode estar presente ou não (superfície de *by pass*).

Litologias associadas: Folhelhos argilosos.

Estruturas físicas associadas: Acamamento riscado e marca de calha.

Icnogêneros presentes: *Skolithos* e *Thalassinoides*.

Tipo de substrato: Sedimentos firmes, desidratados e comumente compactados (*firmground*).

Paleoambiente deposicional: Relacionada a superfícies de omissão geradas em ambiente marinho litorâneo a sublitorâneo.

Profundidade de ocorrência típica: 130,40 m a 130, 50.

### **Iconofácies Skolithos – Formações Pimenteira e Cabeças** (Estampa G)

Diagnose: Predominam escavações de habitação/alimentação verticais cilíndricas ou em forma de U, geradas provavelmente por organismos, suspensívoros, e estruturas de equilíbrio apresentando *spreiten*, evidenciando a adaptação do organismo à variadas taxas de sedimentação. Secundariamente ocorrem estruturas de alimentação subhorizontais e de repouso. Os icnitos de habitação apresentam paredes revestidas por sedimento argiloso. Pode ocorrer como colonização oportunista em pequenas camadas arenosas em meio a folhelhos típicos da iconofácies Cruziana, com estruturas geralmente apresentando tamanhos reduzidos.

Litologias associadas: Arenitos muito finos superiores a médios.

Estruturas físicas associadas: Estratificações plano-paralelas, cruzadas planares e cruzadas de baixo ângulo.

Ignogêneros presentes: *Arenicolites*, *Asterossoma*, *Bergaueria*, *Cylindrichnus*, *Diplocaterion*, *Lockeia*, *Macaronichnus*, *Monocraterion*, *Palaeophycus*, *Psilonichnus*, *Rhizocorallium*, *Rosselia*, *Skolithos* e estruturas de escape.

Tipo de substrato: Sedimentos arenosos onde as escavações permanentes necessitam de margens estabilizadas (*looseground*).

Paleoambiente deposicional: Ambientes de elevada energia pela ação de ondas ou correntes na face de praia ou *shoreface*, sujeitos a erosões e deposições abruptas.

Profundidade de ocorrência típica: 65,10 m a 68,50 m.

### **Iconofácies Cruziana – Formação Pimenteira**

Diagnose: Escavações endo e epiestratais predominantemente horizontais, de alimentação e pastagem provavelmente produzidas por organismos sedimentófagos como anelídeos e alguns artrópodes. Frequentemente ocorrem pequenas camadas arenosas intercaladas aos folhelhos, apresentando colonização oportunista, caracterizada pela iconofácies Skolithos.

Litologias associadas: Folhelhos argilosos.

Estruturas físicas associadas: Acamamento riscado e marca de calha.

Ichnogêneros presentes: *Asterossoma*, *Diplocraterion*, *Gyrolithes*, *Helmintopsis*, *Planolites*, *Teichichnus*, *Thalassinoides*, *Zoophycos* e pistas epiestratais.

Tipo de substrato: Sedimentos lamosos com alguma desidratação, mas não saturados (*softground*).

Profundidade de ocorrência típica: 139,00 a 140,00 m.

Posteriormente, a observação mais detalhada da icnofácies Cruziana permitiu sua subdivisão em três subicnofácies distintas. Esta divisão teve como base o grau de diversidade de icnogêneros, intensidade de ocorrência dos mesmos, forma e tamanho das estruturas, além da sedimentologia.

### **Subicnofácies Cruziana Empobrecida** (Estampa H, Figura 2)

Diagnose: Foi identificado um número razoável de icnogêneros nessa subicnofácies, entretanto estes ocorrem dispersos ao longo do poço, nunca concentrados num intervalo. Por esse motivo considera-se que esta subicnofácies apresenta diversidade e intensidade de ocorrência de traços fósseis relativamente baixos. Raramente ocorrem estruturas verticais, a não ser nas abundantes camadas arenosas apresentando colonização oportunista. As estruturas apresentam tamanho reduzido e comumente formas pouco regulares.

Litologias associadas: Folhelhos argilosos.

Estruturas físicas associadas: Acamamento riscado e marca de calha.

Ichnogêneros presentes: *Asterossoma*, *Diplocraterion*, *Gyrolithes*, *Helmintopsis*, *Planolites*, *Teichichnus*, *Thalassinoides*, *Zoophycos* e pistas epiestratais.

Paleoambiente deposicional: Ambientes deltaicos distais (pró-delta), com frequentes variações de salinidade, chegada de correntez de turbidez e ação de ondas de tempestade.

Profundidade de ocorrência típica: 114,60 a 115, 60 m

### **Subicnofácies Cruziana Arquetípica** (Estampa H, Figura 1)

Diagnose: Apresenta elevada diversidade e intensidade de ocorrência de traços fósseis, ocorrendo concentrados num pequeno intervalo no poço. As estruturas apresentam tamanhos consideráveis e formas muito bem definidas. Camadas arenosas ocorrem frequentemente. Representa a Icnofácies Cruziana *strictu sensu*.

Litologias associadas: Folhelhos argilosos.

Estruturas físicas associadas: Acamamento riscado e marca de calha.

Ignogêneros presentes: *Asterossoma*, *Helmintopsis*, *Planolites*, *Teichichnus*, *Thalassinoides*, *Zoophycos*.

Paleoambiente deposicional: Ambientes marinhos sem influência deltaica, variando do *shoreface* inferior ao *offshore* superior, abaixo do nível de ação de ondas de tempo bom, mas acima do nível de ação de ondas de tempestade.

Profundidade de ocorrência típica: 139,00 a 140,00 m.

### **Subicnofácies Cruziana Distal**

(Estampa H, Figura 3)

Diagnose: Apresenta diversidade e intensidade de ocorrência de traços fósseis muito reduzidos, com estruturas muito pequenas, caracterizando a ação de pequenos anelídeos sedimentófagos. Camadas arenosas são raras, e não ocorrem estruturas verticais.

Litologias associadas: Folhelhos argilosos.

Estruturas físicas associadas: Acamamento riscado.

Ignogêneros presentes: *Helmintopsis*, *Planolites*, *Zoophycos*.

Paleoambiente deposicional: Típica do *offshore* inferior, abaixo do nível de ação de ondas de tempestade, marcando a transição para a icnofácies *Zoophycos*. A presença de níveis arenosos é rara.

Profundidade de ocorrência típica: 117,10 a 118,00 m.

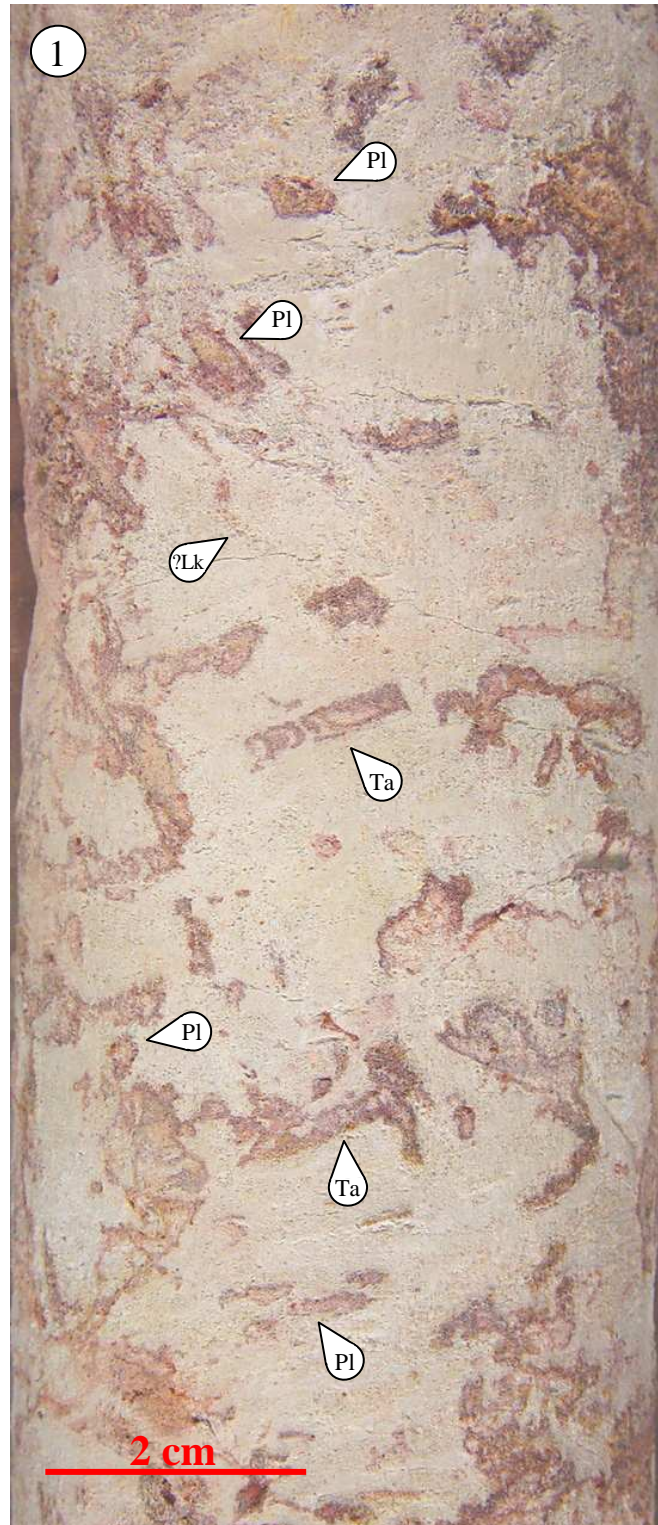
## Estampa E

Iconofácies Scoyenia ocorrendo em argilito síltico arenoso de cor avermelhada, sendo caracterizada pelo predomínio de estruturas subhorizontais tubulares de alimentação.

Figura 1: Observa-se a ocorrência de estrutura tubular meniscada identificada como *Taenidium* isp. (Ta), além de uma possível ocorrência de *Lockeia* isp. (Lk) e estruturas em forma de tubos subhorizontais circulares com preenchimento arenoso correspondentes ao icnogênero *Planolites* isp. (Pl). Profundidade 88,30 m (Fm. Cabeças).



Estampa E



## Estampa F

ICNOFÁCIES GLOSSIFUNGITES ocorrendo em sedimento argiloso e sobrepondo-se em relação à icnofácies Cruziana. Foram identificadas quatro superfícies distintas caracterizando substratos compactados (*firmground*).

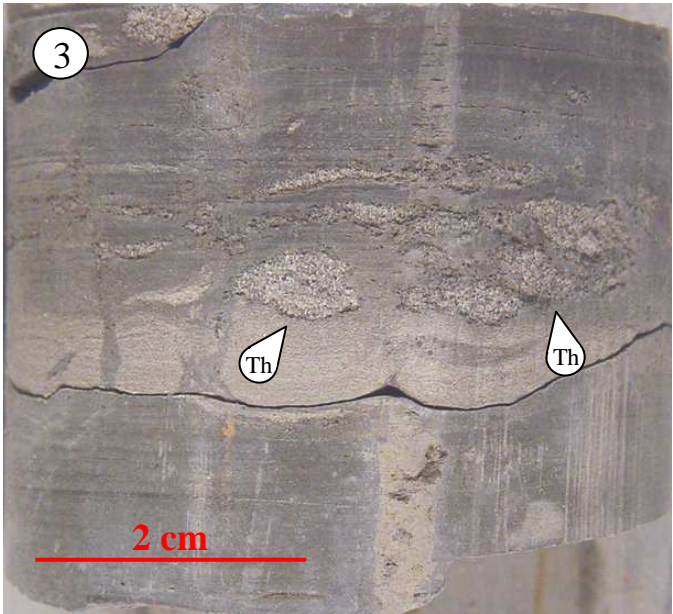
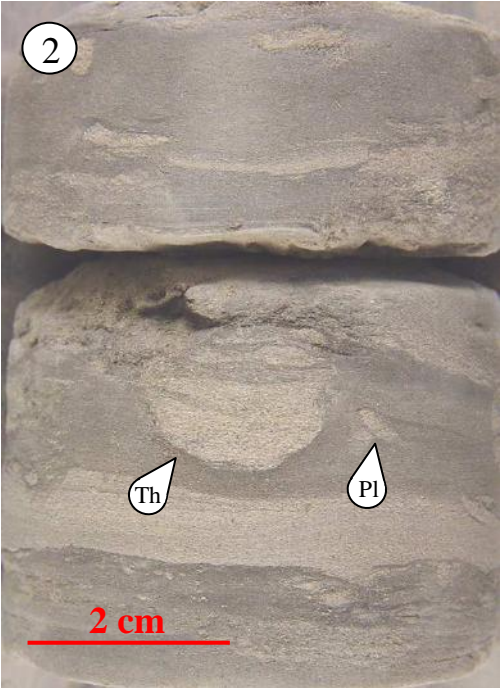
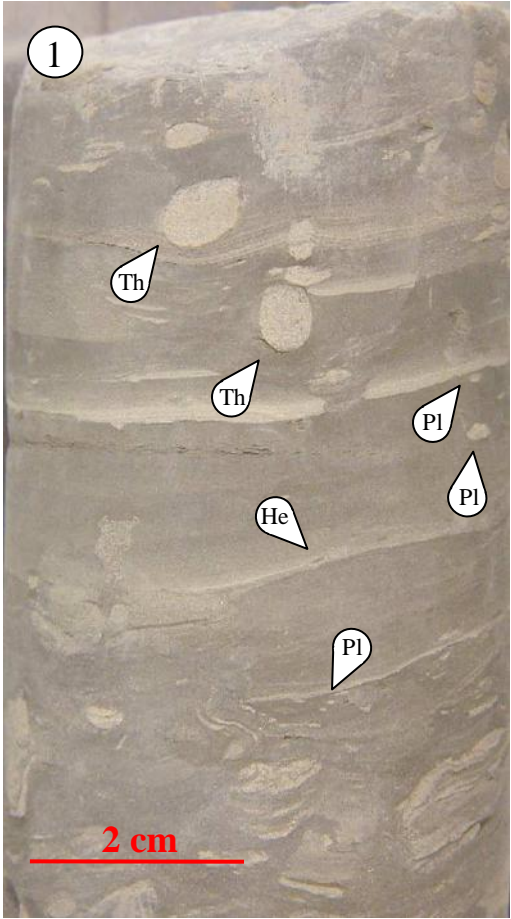
Figura 1: Intervalo rico em estruturas horizontais circulares de grande porte, preenchidas por sedimento arenoso e sem parede revestida, correspondendo ao icnogênero *Thalassinoides* isp. (Th). Não foi possível delimitar uma superfície que identificasse o limite superior do *firmground*. Este intervalo foi caracterizado como pertencente à icnofácies Glossifungites pela abundância dessas estruturas. Corresponde à primeira superfície de *firmground*. Observam-se também os icnogêneros *Planolites* isp. (Pl) e *Helminthopsis* isp. (He) correspondendo à icnofácies Cruziana. Profundidade 136,70 m (Fm. Pimenteira).

Figura 2: Observa-se uma grande estrutura de bioturbação subhorizontal com laminação horizontal correspondente ao icnogênero *Thalassinoides* isp. (Th). Evidencia a ocorrência da icnofácies glossifungites e corresponde à segunda superfície de *firmground*. Profundidade 132,20 m (Fm. Pimenteira).

Figura 3: Nível rico em estruturas tabulares subhorizontais sem revestimento na parede e com preenchimento de granulometria grossa correspondentes ao icnogênero *Thalassinoides* isp. (Th). Corresponde à quarta superfície de *firmground*. Profundidade 111,35 m (Fm. Pimenteira).

Figura 4: Estrutura tubular vertical sem paredes revestidas e com preenchimento arenoso, na base se uma fina lâmina arenosa com granulometria idêntica ao preenchimento da estrutura. Foi atribuída ao icnogênero *Skolithos* isp. (Sk). Corresponde à terceira superfície de *firmground*. Profundidade 130,40 m (Fm. Pimenteira).

Estampa F



## Estampa G

ICNOFÁCIES Skolithos caracterizada pela ocorrência de estruturas predominantemente verticais de habitação/alimentação com paredes revestidas em substrato arenoso.

Figura 1: Intervalo com ocorrência predominante do icnogênero *Macaronichnus* isp. (Ma) evidenciando paleoambiente deposicional de face de praia. Profundidade 69,50 m (Fm. Cabeças).

Figura 2: Intervalo com ocorrência do icnogênero *Psilonichnus* isp. (Ps) na base e predomínio do icnogênero *Skolithos* isp. (Sk) para o topo, caracterizando paleoambiente estressante com alguma influência de água doce. Profundidade 79,20 m (Fm. Cabeças).

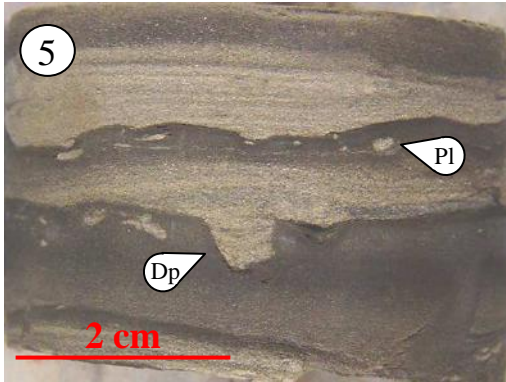
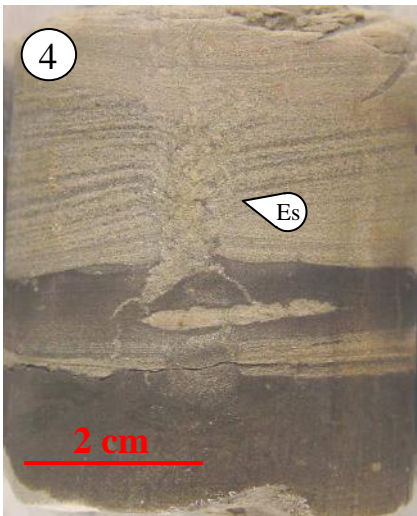
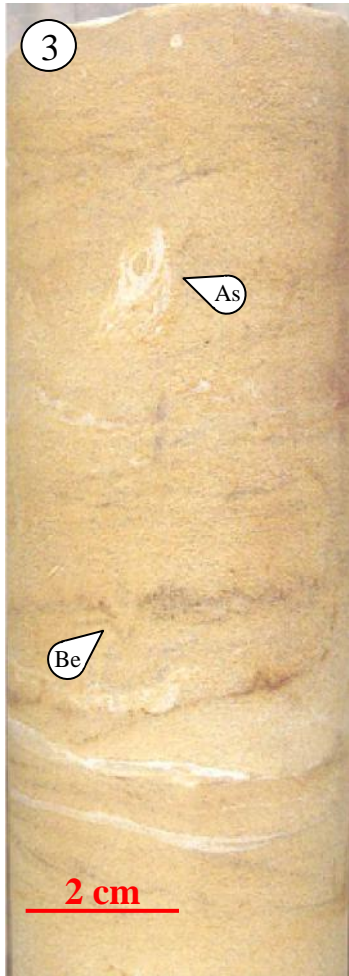
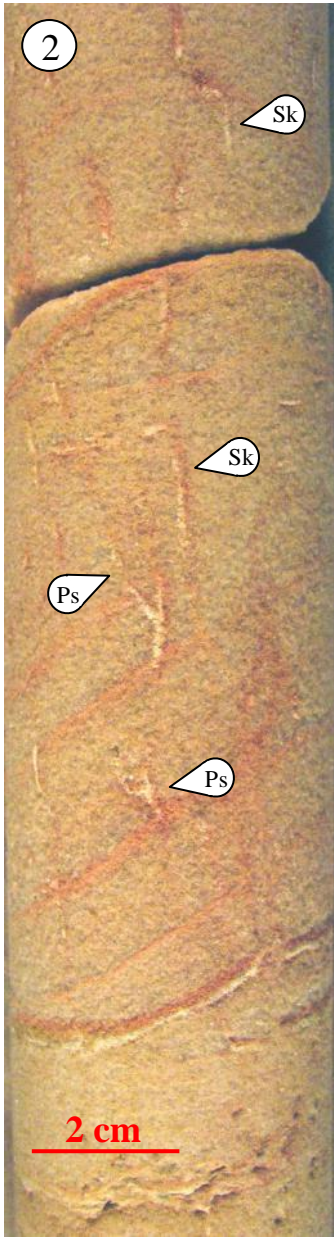
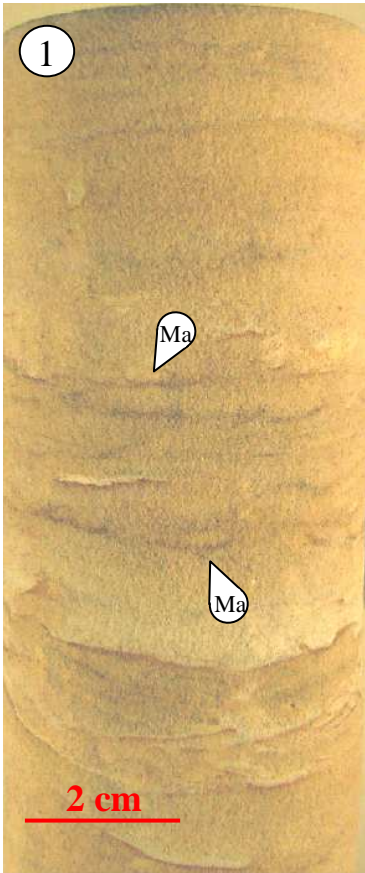
Figura 3: ICNOFÁCIES Skolithos típica, apresentando baixa intensidade e diversidade de traços fósseis. Observam-se estruturas de bioturbação correspondentes aos icnogêneros *Asterosoma* isp. (As) e *Bergaueria* isp. (Be). Profundidade 71,15 m (Fm. Cabeças).

Figura 4: Estrutura de escape (Es) indicando rápida taxa de sedimentação nas pequenas camadas arenosas com colonização oportunista correspondente à icnofácies Skolithos. Profundidade 142,05 m (Fm. Pimenteira).

Figura 5: ICNOFÁCIES Skolithos ocorrendo numa pequena camada arenosa intercalada com folhelhos apresentando assembléia icnofossilífera típica da icnofácies Cruziana. Caracteriza uma colonização oportunista. Pode ser observado o icnogênero *Diplocraterion* isp. (Dp) na base da camada arenosa além do icnogênero *Planolites* isp. (Pl) nos folhelhos colonizados pela icnofácies Cruziana. Profundidade 132,55 m (Fm. Pimenteira).



Estampa G



## Estampa H

Comparação entre as três subdivisões identificadas da icnofácies Cruziana (arquetípica, empobrecida e distal).

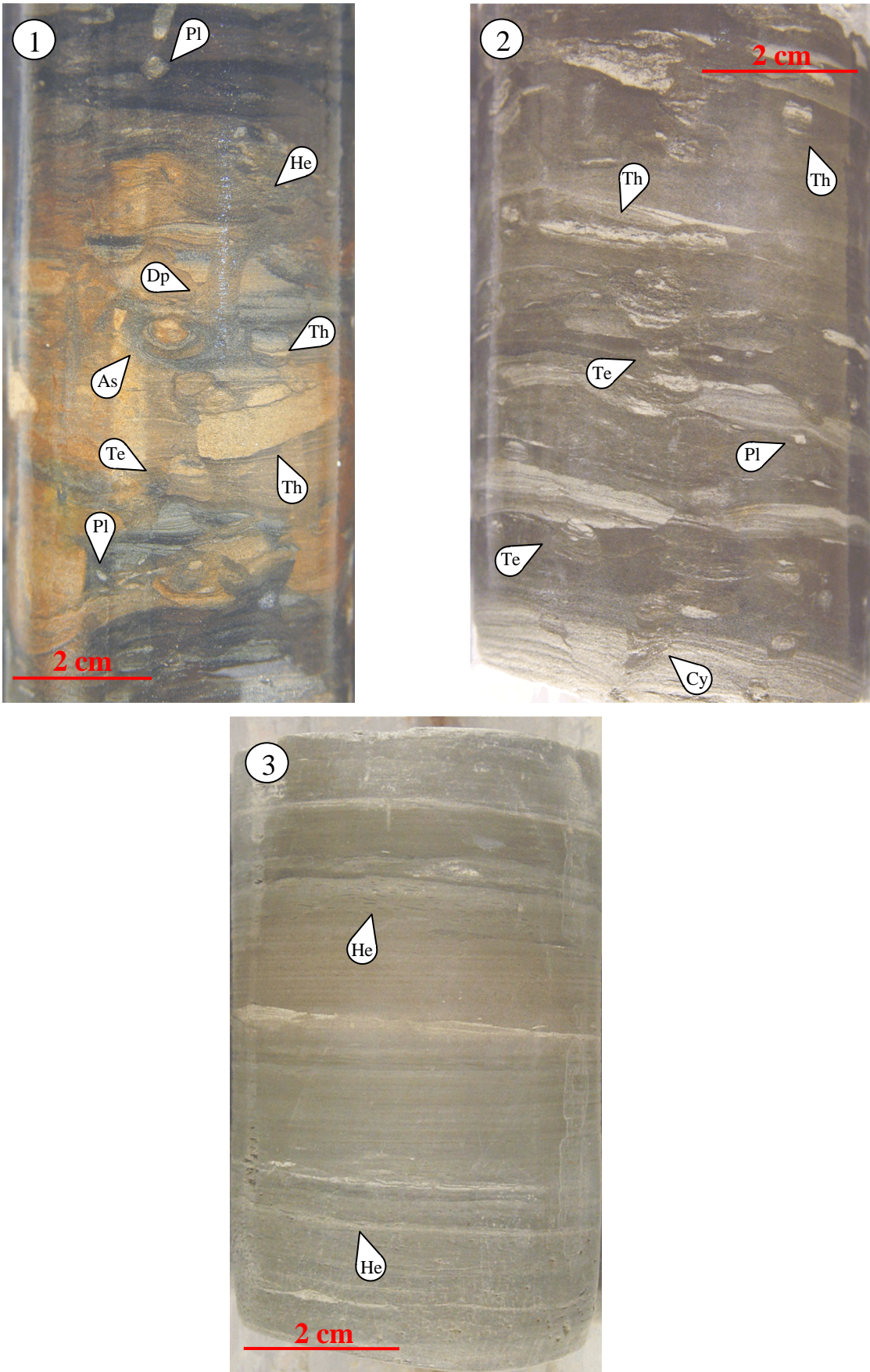
Figura 1: Icnofácies Cruziana Arquetípica, caracterizada por grande intensidade e diversidade de traços fósseis, com estruturas maiores e mais definidas. Podem ser observados os icnogêneros *Asterosoma* isp. (As), *Helminthopsis* isp. (He), *Planolites* isp. (Pl), *Teichichnus* isp. (Te) e *Thalassinoides* isp. (Th). Numa camada arenosa no centro da imagem pode ser observado o icnogênero *Diplocraterion* isp. (Dp), caracterizando uma colonização oportunista da icnofácies Skolithos. Profundidade 139,80 m (Fm. Pimenteira).

Figura 2: Icnofácies Cruziana Empobrecida, caracterizada pela menor intensidade e diversidade de traços fósseis em relação à icnofácies Cruziana Arquetípica, com estruturas menores e mais irregulares. Ocorrem os icnogêneros *Planolites* isp. (Pl), *Teichichnus* isp. (Te) e *Thalassinoides* isp. (Th). Na camada arenosa na borda inferior da imagem pode ser observado o icnogênero *Cylindrichnus* isp. (Cy), caracterizando uma colonização oportunista da icnofácies Skolithos. Profundidade 137,15 m (Fm. Pimenteira).

Figura 3: Icnofácies Cruziana Distal, caracterizada pela intensidade e diversidade de traços fósseis muito baixas e ocorrência de pequenas estruturas subhorizontais de alimentação como o icnogênero *Helminthopsis* isp. (He). Profundidade 123,35 m (Fm. Pimenteira).



Estampa H



Dessa forma conclui-se que a transição entre ambas as formações estudadas ocorre predominantemente num contexto marinho litorâneo variando do offshore superior à face de praia, sendo o limite inferior caracterizado pela Subicnofácies Cruziana Distal e o limite superior pela ocorrência do icnogênero *Macaronichnus* isp. na icnofácies Skolithos, associado à estratificações cruzadas de baixo ângulo. Apenas a Formação Cabeças apresenta alguma influência continental, evidenciada pela presença da icnofácies Scoyenia, provavelmente relacionada a lagoas ou lagunas rasas localizadas após o *backshore*, assim como pela ausência de estruturas de bioturbação na grande maioria do seu intervalo de ocorrência (Figura 9).

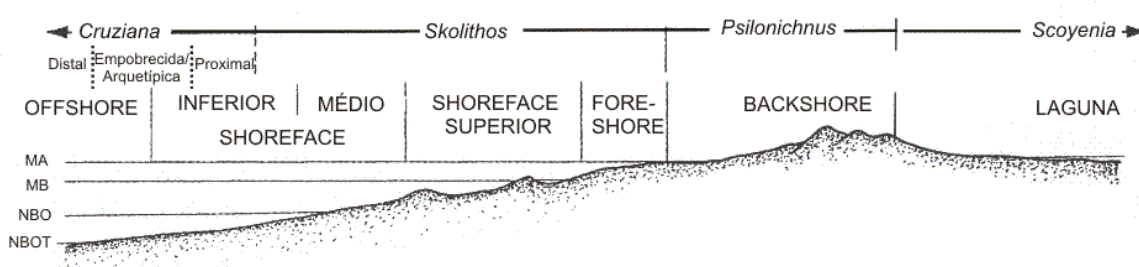


Figura 9: Perfil de praia evidenciando a distribuição das icnofácies (Pemberton *et al.*, 2001).

No intervalo de 77,50 m a 79,20 m da Formação Cabeça ocorre a predominância do icnogênero *Skolithos* com a presença de uma única estrutura correspondente ao icnogênero *Psilonichnus*, comumente associado a ambientes transicionais como estuários. Este intervalo pode ser interpretado como pertencente à icnofácies Skolithos, mas apresentando alguma influência de água doce (ambiente transicional ou estuarino), embora ainda predominem condições marinhas. Esse ambiente estressante limitaria a diversidade de organismos permitindo a abundância de um único icnogênero.

A presença das subicnofácies Cruziana Empobrecida e Cruziana Arquetípica evidencia variações na intensidade de influência deltaica durante a deposição das rochas da Formação Pimenteira. Esta variação poderia ser gerada pela migração da foz do rio ou pela alternância das correntes litorâneas.

A ocorrência da subicnofácies Cruziana Distal se deve a um momento de elevação do nível do mar.

As pequenas camadas arenosas intercaladas aos folhelhos da Formação Pimenteira muitas vezes apresentam colonização oportunista correspondente à Icnofácies Skolithos. Nestas camadas pode-se comumente encontrar estruturas de escape indicando rápida



sedimentação. Estas poderiam se formar pela ação de fluxos hiperpicnais ou ondas de tempestade.

#### 4.4 Análises estratigráficas

Através da análise paleobatimétrica, devido à identificação das icnofácies e conseqüente interpretação de paleoambientes, além da identificação de icnofácies substrato controladas (Glossifungites), foi possível a realização de análises estratigráficas.

De forma geral foi identificada inicialmente, na Formação Pimenteira, uma transgressão devido à transição da subicnofácies Cruziana Empobrecida e Arquetípica para Cruziana Distal, com drástica redução da presença de camadas arenosas. Nesse contexto ocorre a presença da icnofácies Glossifungites indicando a existência de três superfícies de *firmground* 2 interpretadas como superfícies transgressivas erosivas (STE) e outra que não foi possível determinar com segurança se trata-se de uma STE ou de uma superfície regressiva erosiva (SRE), pois apesar de ocorrer num contexto geral transgressivo, está presente na base de uma camada de arenito de espessura considerável, podendo dessa forma caracterizar um evento de regressão forçada num ciclo eustático de menor ordem. Segundo Netto (2001) a STE ocorre no limite superior do trato de mar baixo.

Segundo Pemberton & MacEachern (2004), este tipo de substrato provavelmente teria se formado pela erosão dos níveis superficiais e incoesos do leito marinho, expondo assim as camadas de sedimento já compactadas e desidratadas. Estes eventos erosivos estariam associados a superfícies de omissão, possivelmente caracterizando superfícies erosivas transgressivas ou regressivas (Figura 10).



Figura 10: Estágios de desenvolvimento da Icnofácies Glossifungites devido à formação de *firmground* (Pemberton *et al.*, 2001).

A primeira STE ocorre na profundidade de 136,50 m, não sendo observada uma superfície específica bioturbada. Foi reconhecida pela grande abundância do icnogênero *Thalassinoides*, com estruturas de grande porte e preenchimento arenoso algumas vezes laminado, no intervalo logo abaixo de uma camada de arenito seixoso (Estampa F, Figura 1). A superfície foi estabelecida na base da camada de arenito seixoso, acima da qual as estruturas deixam de ocorrer.

A segunda superfície de *firmground*, profundidade de 131,50 m, não pôde ser atribuída com segurança a uma STE, pois como ocorre abaixo de um pacote de arenito expressivo poderia representar uma SRE num contexto de regressão forçada num ciclo de menor ordem. Assim como a superfície anterior foi identificada pela abundante ocorrência do icnogênero *Thalassinoides*.

A terceira superfície de *firmground* ocorre na profundidade de 130,40 m, sendo reconhecida pela presença de uma fina camada de arenito fino superior com uma estrutura correspondente ao icnogênero *Skolithos* em sua base (Estampa F, Figura 2). Este não apresenta paredes revestidas e encontrasse preenchido pela areia da camada acima, indicando ter se formado em *firmground*.

Posteriormente ocorre uma regressão, evidenciada pelo retorno da subicnofácies Cruziana Empobrecida, culminando nas rochas da Formação Cabeças, correspondentes a icnofácies *Skolithos*. Nesse contexto foi identificada uma superfície regressiva erosiva (SRE).

A SRE ocorre na profundidade de 111,50 m, sendo reconhecida pela presença de um pequeno intervalo onde ocorre o icnogênero *Thalassinoides* (Estampa F, Figura 3). As estruturas, com paredes sem revestimento, apresentam preenchimento de arenito grosso, indicando que estas se formaram em *firmground*.

Entretanto nesta formação podem ser reconhecidos ciclos eustáticos de menor ordem, evidenciados pela presença de uma icnofácies continental (*Scoyenia*), além de um intervalo da Icnofácies *Skolithos* apresentando características que indicam alguma influência de água doce.

O limite entre o ciclo transgressivo-regressivo corresponde a uma Superfície de Inundação Máxima (SIM). Entretanto, não foi possível identificar a posição exata da SIM no registro litológico. Por esse motivo sua posição foi estabelecida no intervalo mediano da subicnofácies Cruziana Distal.

A ausência de uma icnofácies transicional entre as icnofácies Cruziana Empobrecida e *Skolithos* (Cruziana Proximal), assim como identificação e uma SER e a ausência de estruturas de bioturbação nos arenitos da Formação Cabeças localizados logo acima do

contato com a Formação Pimenteira, podem indicar a presença de uma regressão forçada no contato entre ambas as unidades. Dessa forma os arenitos desse intervalo poderiam representar vales incisos gerados durante a regressão.

Através da interpretação de paleoambiente, análise estratigráfica, além dos outros dados analisados, foi possível a confecção do perfil litológico-icnológico mostrado a seguir (Figura 11). Nesse perfil foram excluídos os primeiros 65 metros do poço, pois como foi mencionado anteriormente este intervalo praticamente não apresenta bioturbação, possivelmente representando fácies continentais ou pelo menos com grande influência continental.

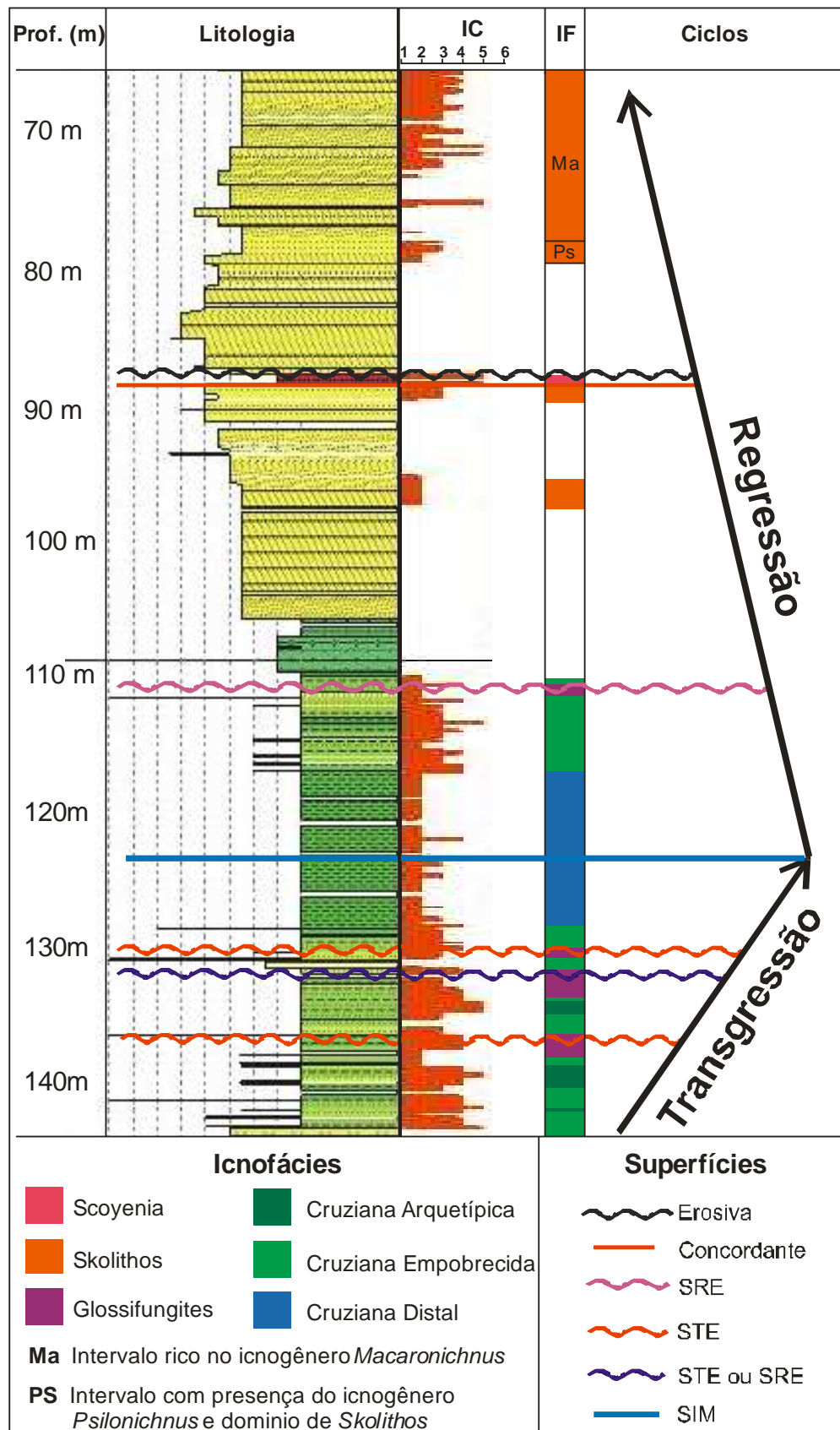


Figura 11: Perfil litológico-icnológico mostrando a distribuição dos índices de icnotrama e icnofácies ao longo do poço, além das superfícies estratigráficas e ciclos eustáticos. IC representa o índice de icnotrama enquanto IF as icnofácies.

## 5 CONCLUSÕES

Através da análise icnológica das rochas do poço 2-NA-1-TO foi possível obter informações quanto ao Índice de Icnograma, a Icnotaxonomia, as icnofácies, tipo de substrato, além de fazer inferências quanto aos paleoambientes deposicionais e identificação de superfícies estratigráficas para as formações Pimenteira e Cabeças.

Pela determinação do Índice de Icnograma observou-se que há uma preferência dos organismos produtores das estruturas de bioturbação por sedimentos de granulometria fina, variando de folhelhos argilosos a arenitos médios, concentrando-se dessa forma na Formação Pimenteira.

Também observou-se que as duas unidades apresentam, de forma geral, intensidade de bioturbação relativamente baixa, aproximando-se do padrão estabelecido para lamitos e arenitos plataformais, para a Formação Pimenteira, e arenitos de mar raso para a Formação Cabeças.

A observação detalhada das estruturas de bioturbação permitiu classificá-las icnotaxonomicamente. Esta classificação se deu quanto ao icnogênero e serviu de base para a determinação das icnofácies. Foram identificados ao todo 20 icnogêneros, além de estruturas de escape e pistas epiestratais indistintas.

A partir da classificação dos icnogêneros e o reconhecimento de assembléias icnofossilíferas realizou-se a determinação das icnofácies. Foram identificadas as icnofácies Scoyenia, Glossifungites, Skolithos e Cruziana, sendo a primeira continental e as outras marinhas. Uma análise mais detalhada permitiu a divisão desta última nas subicnofácies Cruziana Empobrecida, Cruziana Arquetípica e Cruziana Distal.

Com base nas icnofácies estabelecidas foi possível interpretar os tipos de substratos sobre os quais atuaram os organismos.

Através dos dados anteriormente descritos, principalmente as icnofácies identificadas, foi possível realizar uma análise paleobatimétrica e interpretar os paleoambientes nos quais as rochas de ambas as formações teriam se depositado. Atribui-se dessa forma paleoambiente marinho variando do *offshore* superior (Cruziana Distal) ao *shoreface* inferior, intercalando momentos de grande influência fluvial (Cruziana Empobrecida) com momentos de características tipicamente marinhas (Cruziana Arquetípica), para os folhelhos intercalados com pequenas camadas de areia, geradas por fluxos hiperpicnais ou ação de ondas de tempestade, pertencentes à Formação Pimenteira.

Já para a Formação Cabeças atribui-se paleoambiente marinho costeiro, variando do *shoreface* intermediário à face de praia (*Macaronichnus* associado com estratificações cruzadas de baixo ângulo), caracterizado pela icnofácies Skolithos. Ocorre um pequeno depósito continental representado por um intervalo de argilito siltico arenoso formado em lagos ou lagunas rasas (icnofácies Scoyenia). Em outro intervalo do testemunho observa-se características indicando alguma influência de água doce na icnofácies Skolithos (condições mais estuarinas).

Pela união de todos os dados anteriormente descritos, principalmente a análise batimétrica realizada com base nas icnofácies, além da identificação de icnofácies substrato controladas (Glossifungites), foi possível a realização de inferências estratigráficas. Foi identificado um ciclo transgressivo-regressivo, separado por uma SIM, na Formação Pimenteira, contendo duas STE, uma superfície de *firmground* podendo representar uma STE ou uma SRE e uma SRE. Esta regressão culmina na Formação Cabeças que ainda apresenta ciclos eustáticos de menor ordem, evidenciados pela presença de uma icnofácies continental (Scoyenia), além de um intervalo da icnofácies *Skolithos* apresentando características que indicam alguma influência de água doce.

A ausência de uma icnofácies de transição (Cruziana Proximal) entre as icnofácies Cruziana Empobrecida (Fm. Pimenteira) e Skolithos (Fm. Cabeças), no contato entre as formações Pimenteira e Cabeças, a identificação de uma SRE na passagem de uma unidade para outra, além da ausência de estruturas de bioturbação no intervalo inicial da Fm. Cabeças levam a crer que o processo regressivo se deu através de uma regressão forçada, e não uma regressão normal como a maioria dos autores acredita. Esta avaliação corrobora a interpretação feita por Young (2003).

Por último foi construído um perfil litológico-icnológico associando os dados fornecidos por esse trabalho, contribuindo dessa forma para uma análise mais refinada das rochas compreendidas por essas duas unidades estratigráficas.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINHO, S. **Iconofósseis da Formação Pimenteira, Devoniano da Bacia do Parnaíba, no Estado do Piauí**. 2005. 123f. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- AGOSTINHO, S.; CAMPELO, F. M. A. C.; MELO, K. J. V.; VIANA, M. S. S.; FERNANDES, A. C. S. Perfil estratigráfico da Formação Pimenteira (Devoniano da Bacia do Parnaíba) no leito do rio Sambito (Pimenteiras-PI). In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 2001, Natal. **Resumos...** Natal, 2001. v.0, p.56-56.
- AGOSTINHO, S.; CORREA, L. M. S. A.; FERNANDES, A. C. S. Os iconofósseis da Formação Pimenteira (Devoniano da Bacia do Parnaíba) no Município de Miranorte, Estado do Tocantins. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 2003, Brasília. **Boletim de Resumos**. Brasília: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2003. v.1, p.34-34.
- AGOSTINHO, S.; FERNANDES, A. C. S. Avaliação do conteúdo icnológico da Formação Pimenteira, Devoniano da Bacia do Parnaíba. **Revista Brasileira de Paleontologia**, Rio de Janeiro, v.0, n.2, p.154-154, 2001.
- AGOSTINHO, S.; FILHO, M.F.L. Ocorrência dos icnogêneros *Lophoctenium*, *Lockeia* e *Skolithos* na Formação Pimenteira, Estado do Piauí (Devoniano da bacia do Parnaíba). In: REUNIÃO ANUAL REGIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA, 2006, Sobral. **Resumos...** Sobral: Fundação Paleontológica Phoenix, 2006, p.3.
- AGOSTINHO, S.; VIANA, M. S. S.; FERNANDES, A. C. S. Duas novas icnoespécies de Bifungites Desio, 1940 na Formação Pimenteira, Devoniano da Bacia do Parnaíba, Brasil. **Arquivos do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, v.62, n.4, p.519-530, 2004.
- BIZZI, L.A. *et al.* 2002. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas-Sig. Brasília, CPRM. 4 CD-ROM.
- BOTTJER, D.J. & DROSER, M.L. Ichnofabric and basin analysis. **Palaaios**, 6, 199-205, 1991.
- CAMPBELL, D.F.; ALMEIDA, L.A.; SILVA, S.O. Relatório preliminar sobre a geologia da bacia do Maranhão. Rio de Janeiro, **Conselho Nacional do Petróleo**, p.160, 1949. (Boletim, n.1).
- CAPUTO, M.V. & LIMA, E.C. Estratigrafia idade e correlação do Grupo Serra Grande. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, v.2, p.740-759.
- CORDANI, U. G; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A.; PORTO, R. & CUNHA, F.M.B. Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. **Rev. Ciênc. Técnica Petróleo**, Petrobras, Rio de Janeiro, 15, 1984.
- CUNHA, F.M.B. **Evolução paleozóica da bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico**. 1986. 107f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DELLA FÁVERA, J.C. **Tempestitos da bacia do Parnaíba: um ensaio holístico**. 1990. 243f. Tese (Doutorado em Geociências) – Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DELLA FÁVERA, J.C. **Fundamentos de Estratigrafia Moderna**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001, p.263.

DENCK, T. **Gearquitectura deposicional e correlação estratigráfica de corpos de arenito da Formação Pimenteira (Devoniano) na borda leste da bacia do Parnaíba**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências. Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DROSER, M.L. & BOTTJER, D.J. A semiquantitative field classification of ichnofabric. **Journal of Sedimentary Petrology**, 56, p.558–559, 1986.

DROSER, M.L. & BOTTJER, D.J. Ichnofabric of Sandstones Deposited in High-Energy Nearshore Environments: Measurement and Utilization. **Palaos**, 4, p.598-604, 1989.

EKDALE, A.A.; BROMLEY, R.G.; PEMBERTON, S.G. Ichnology: Trace Fossils in Sedimentology and Stratigraphy. **Society of Economic Paleontologists and Mineralogists**, (Short Course 15), p.317, 1984.

EKDALE, A.A. Pitfalls of Paleobathymetric Interpretations Based on Trace Fossil Assemblages. **Palaos**, 3, p.464-472, 1988.

FERNANDES, A.C.S.; BORGHI, L.; CARVALHO, I.S.; ABREU, C.J. **Guia dos icnofósseis de invertebrados do Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2002, p.260.

FERREIRA, C.S.; FERNANDES, A.C.S. Notícias sobre alguns icnofósseis da Formação Pimenteira, Devoniano no Estado de Goiás. **An. Acad.Bras.Ci.**, Rio de Janeiro, 55 (1), p.140. 1983.

FREITAS, E.L. **Análise estratigráfica da seqüência Devoniana aflorante na bacia do Parnaíba entre as cidades de Picos e Oeiras (PI)**. 1990. 175f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

FREY, R.W.; PEMBERTON S.G. Biogenic structures in outcrops and cores. I. Approaches to ichnology. **Bulletin of Canadian Petroleum Geology**, 33, p.72-115, 1985.

GÓES, A.M.O. & FEIJÓ, F.J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 8: 57-67, 1994.

GÓES, A.M.O.; SOUZA, J.M.P.; TEIXEIRA, L.B. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 4: 55-64, 1990.



KEGEL, W. Rastros do Devoniano da Bacia do Parnaíba. **Boletim**. Rio de Janeiro. Departamento Nacional de Produção Mineral. Divisão de Geologia e Mineralogia, 233, p.32, 1966.

MCILROY, D. Some ichnological concepts, methodologies, applications and frontiers. In: MCILROY, D. (ed.) **The Applications of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis**. London: Geological Society, 2004. p.3-27.

MELO, J. H. G.; LOBOZIAK, S.; STREEL, M. Latest devonian to early late carboniferous biostratigraphy of Northern Brazil: an update. **Bulletin du Centre de Recherches Elf Exploration Production**, Pau, v. 22, n. 1, p. 13-33, 1998.

MESNER, J.C. & WOOLDRIDGE, L.C. Maranhão Paleozoic Basin and Cretaceous coastal basins North Brazil, **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, 48: 1476-1512, 1964.

MILLER, W.III. **Trace Fossils: Concepts, Problems, Prospects**. (ed). Amsterdam: Elsevier, 2007. p.598.

NETTO, R.G. Icnologia e Estratigrafia de Sequências. In: RIBEIRO, H.J.P.S. (ed). **Estratigrafia de Sequências: fundamentos e aplicações**. São Leopoldo:Unisinos, 2001. p.219-259

PEMBERTON, S.G.; SPILA, M.V.; PULHAM, A.J.; SAUNDERS, T.; MACEACHERN, J.A.; ROBBINS, D.; SINCLAIR, I. Ichnology and sedimentology of shallow and marginal marine systems: Ben Nevis and Avalon reservoirs, Jeanne d'Arc Basin. **Geological Association of Canada** (Short Course 15), p.353, 2001.

PEMBERTON, S.G.; MACEACHERN, J.A.; SAUNDERS, T. Stratigraphic applications of substrate-specific ichnofacies: delineating discontinuities in the rock record. In: MCILROY, D. (ed.) **The Applications of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis**. London: Geological Society, 2004. p.29-62.

PLUMMER, F. B. Report on Maranhão-Piauí Geosyncline. **RENOR/DIREX/PETROBRAS**, Belém, 1-83, 1946 (Relatório 1946).

ROSSETI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (eds) (2001). O Cretáceo da bacia de São Luís–Grajáú. Belém, Museu Emílio Goeldi, p.246. (Coleção Friedrich Katzer).

SANTOS, M.E.C.M. **Reconstituições paleobiológicas nas bacias do Parnaíba e de São Luís** 1998. 280f. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SEILACHER, A. Biogenic sedimentary structures. In: Imbrie, J. and Newell, N.D. (Eds.), **Approaches to Paleoecology**, Wiley:New York, 1964, p. 296–316.

SEILACHER, A. Bathymetry of trace fossils. **Marine Geology**, 5, 413–428, 1967a.

SOUZA, I.V.A.F. **Faciologia orgânica de seções devonianas da bacia do Parnaíba (Formação Pimenteira): implicações para geração de petróleo.** 2007. 164f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

VAZ . P.T.; REZENDE, N.G.A.M.; FILHO, J.R.W.; TRAVASSOS,W.A. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 15 (2): 253-263, 2007.

YOUNG, C.G.K., BORCHI, L., FERNANDES, A.C.S. Icnofósseis na Formação Pimenteira (Devoniano, bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem. **Paleontologia em Destaque**, Porto Alegre, 40, 21, 2002.

YOUNG, C.G.K. **Contribuição à análise estratigráfica da Formação Pimenteira (Devoniano, bacia do Parnaíba): caracterização de um potencial intervalo de rochas-reservatório.** 2003. 120f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

YOUNG, C.G.K.; BORCHI, L. An event of forced regression in the Pimenteira Formation. (Devonian, Parnaíba Basin, Brazil). (2003a). In: LATINAMERICAN CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY, 3, 2003, Belém. **Abstract Book**, p.168-170.

YOUNG, C.G.K.; BORCHI, L. Pimenteira Formation (Devonian, Parnaíba Basin,Brazil): a new prospect for hydrocarbon reservoirs. (2003b). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO e GÁS, 2, 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBP, 2003. CD-ROM. p.6.

YOUNG, C.G.K. **Estratigrafia de alta resolução da Formação Pimenteira (Devoniano) da bacia do Parnaíba.** 2006. 174f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.